DIE NATURWISSENSCHAFTEN

28. Jahrgang | 8. März 1940 | Heft 10

Photochemische Sensibilisation[1]).

Von MAX BODENSTEIN, Berlin.

H. W. VOGEL, den zu feiern wir hier versammelt sind, schätzen wir als den Erfinder der sensibilisierten photographischen Platten, die erlauben, auch im Lichte der Wellenlängen Aufnahmen zu machen, die von Bromsilber nicht mehr merklich absorbiert werden. Er ist in erster Linie Erfinder, das entspricht seiner auf das Praktische und auf den Einzelfall gerichteten Arbeitsweise. Aber er ist, darüber hinaus, zweifellos als Entdecker der allgemeinen Erscheinung der photochemischen Sensibilisation anzusprechen. Seine Schriften enthalten mehrfach Belege dafür, daß er sich des allgemeinen Charakters derselben durchaus bewußt war, von der die Verwendung in der Photographie eine Anwendung darstellt, und von der er eine zweite für die Assimilation der Kohlensäure in den Pflanzen später vorgeschlagen hat — ohne praktische Ergebnisse.

So mag es berechtigt erscheinen, vor seiner Büste eine kurze Darstellung des heutigen Standes zu geben, zu dem seine Entdeckung sich entwickelt hat. VOGEL sagte 1894 in seinem Handbuch der Photographie: „Aus des Verfassers Versuchen mit gefärbten Silbersalzen . . . geht aber hervor, daß nicht nur die Absorption des lichtempfindlichen Körpers selbst, sondern auch die Absorption beigemengter Stoffe bei der chemischen Wirkung des Lichtes eine wichtige Rolle spielen können." In diesem Sinne dürfen wir als photochemische Sensibilisation die Erscheinung bezeichnen, daß ein Stoff zu einer chemischen Reaktion angeregt wird durch Licht, das nicht von ihm selbst absorbiert wird, sondern von einem zweiten Stoff, dem Sensibilisator, der ihm beigemengt ist, und zwar beigemengt in homogenem System in Lösung oder in Gas, im Kristallgitter oder in einer Adsorptionsschicht, wobei sowohl der reagierende Stoff wie der Sensibilisator das Adsorbat sein kann. Um diese sensibilisierten Prozesse zu verstehen, ist es nötig, einmal über den Vorgang Klarheit zu gewinnen, der mit dem Akt der Lichtabsorption verbunden ist — den Primärprozeß —, und andererseits über den Vorgang oder die Vorgänge, die sich ihm anschließen — die Folgereaktionen. Das ist nicht anders als bei jeder normalen photochemischen Reaktion. Auch hier hebt der Akt der Lichtabsorption den absorbierenden Stoff auf ein höheres Energieniveau und befähigt ihn dadurch zu einer Umsetzung, deren seine Molekeln in normalem Zustande nicht oder nur in seltenen Ausnahmefällen fähig sind. Wenn die Art des erhöhten Energieniveaus feststeht, macht es im allgemeinen nicht mehr allzu große Schwierigkeiten, auch die Folgereaktionen zu ermitteln. Betont sei dabei, daß, da die Lichtabsorption seitens einzelner Molekeln in Quanten erfolgt, natürlich auch der Primärprozeß jeweils nur eine einzelne Molekel zum Gegenstand haben kann.

Das gilt für die normalen photochemischen Prozesse, bei denen der lichtabsorbierende Stoff auch der reagierende ist. Bei den sensibilisierten kommt dann noch die Frage hinzu, wie die Energie von dem absorbierenden auf den reagierenden übertragen wird. Eine Beschreibung der sensibilisierten photochemischen Prozesse hätte also die 3 Etappen derselben zu erörtern: Lichtabsorption und ihre Folge im Sensibilisator, Übertragung der Energie auf den reagierenden Stoff und Folgereaktionen, denen dieser nunmehr unterliegt. Nur bei einer oder zwei Gruppen photosensibilisierter Vorgänge sind wir über alle 3 Stufen vollständig im klaren. Das sind in erster Linie Vorgänge, bei denen die Halogene, Jod, Brom, Chlor und auch Fluor die Sensibilisatoren sind. Von denen will ich zunächst sprechen, ohne noch viel allgemeine Erörterungen vorauszuschicken. Denn an ihnen lassen sich die allgemeinen Begriffe am anschaulichsten entwickeln.

Die genannten Vorgänge spielen sich durchweg in Gasen oder in Lösungen ab, und das hat den Vorzug, daß wir hier die übersichtlichsten Verhältnisse hinsichtlich der Lichtabsorption und ihrer Folgen haben, insbesondere gerade bei den Halogenen. Hier ergibt das Studium der Absorptionsspektra folgendes: Von langen zu kurzen Wellen fortschreitend, sehen wir ein Linienspektrum, dessen einzelne Linien wir den sprunghaften Änderungen der Elektronenbahnen, der Schwingungen der Atome innerhalb der Molekel und der Rotationen der gesamten Molekel zuordnen können. Je einem größeren oder kleineren Quant des absorbierten Lichts entspricht eine Linie des Spektrums. In dem Maße, wir wir zu kürzeren Wellen fortschreiten, werden die Unterschiede der Quanten kleiner, die Linien rücken näher zusammen, und von einer bestimmten Stelle an, der „Konvergenzstelle", ist die Absorption kontinuierlich, die diskreten Linien sind verschwunden. Das heißt, die Energie kann hier in beliebigen Beträgen von der Molekel aufgenommen werden, nicht mehr nur in bestimmten Quanten. Zu den Vorgängen der Rotation, der Schwingungen, der Elektronensprünge, die nur in bestimmten Quanten Energie aufnehmen können, ist jetzt ein weiterer getreten, der beliebige Energiebeträge ver-

[1]) Vortrag, gehalten am 25. Mai 1939 im Deutschen Museum zu München gelegentlich der Enthüllung der Büste von H. W. VOGEL vor der Deutschen Gesellschaft für photographische Forschung.

brauchen kann: der Zerfall der Molekel in 2 Atome, für deren Auseinanderfliegen die kinetische Energie jeden beliebigen, nicht quantisierten Betrag haben kann.

So lehrt uns das Absorptionsspektrum der Halogene in unzweideutiger Weise, daß von einer bestimmten Wellenlänge an der Akt der Lichtabsorption untrennbar gekoppelt ist mit einem Zerfall der Molekel in Atome. Diese Atome sind nun höchst reaktionsfähige Gebilde, sie setzen sich schnell mit allen möglichen Stoffen um, die dem belichteten Halogen beigemengt sind, indem sie sich an diese addieren oder indem sie aus ihnen ein Atom herausnehmen, um sich mit diesem zu vereinigen, und so sensibilisieren sie deren Umsetzungen.

Zwei Beispiele mögen das illustrieren:

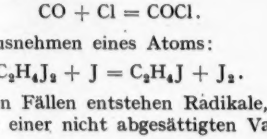
1. Vereinigung:

$$CO + Cl = COCl.$$

2. Herausnehmen eines Atoms:

$$C_2H_4J_2 + J = C_2H_4J + J_2.$$

In beiden Fällen entstehen Radikale, Verbindungen mit einer nicht abgesättigten Valenz:



Diese sind, ähnlich wie die Atome, höchst reaktionsfähig und können in verschiedener Weise weiterreagieren. Das COCl kann, mit Cl_2 weiterreagierend, Phosgen liefern:

$$COCl + Cl_2 = COCl_2 + Cl,$$

wobei das Chloratom regeneriert wird, so daß es sich von neuem an CO anlagern kann und so in einer langen Kette aus *einem* Primärakt

$$Cl_2 + E = 2\,Cl$$

sehr viele Molekeln $COCl_2$ gebildet werden — bis durch irgendeinen Vorgang, hier im wesentlichen $COCl + Cl = CO + Cl_2$, die Kette abgebrochen wird.

Hier ist der reagierende Stoff Cl_2 mit dem absorbierenden identisch. Der Vorgang kann also nicht als photochemische Sensibilisation bezeichnet werden — oder dies höchstens insofern, als ja nicht die 3000 oder mehr Chlormolekeln, welche in der Kette zu $COCl_2$ umgesetzt werden, das Licht absorbiert haben, sondern nur die eine, die im Primärakt in Atome zerfiel.

Wenn wir nun dem Gemenge von Kohlenoxyd und Chlor Sauerstoff zusetzen, so finden wir, daß sich Kohlendioxyd bildet, und zwar, wenn das Verhältnis von Sauerstoff zu Chlor 1 : 1 oder größer ist, so gut wie ausschließlich. Die Bildung von Phosgen wird fast vollständig unterdrückt.

Dabei kann natürlich der Primärprozeß

$$Cl_2 + E = 2\,Cl$$

sich nicht geändert haben; ebenso muß das Cl wie früher sich mit CO zu COCl vereinigen. Aber dies COCl reagiert leichter mit Sauerstoff als mit Chlor; es bildet sich bevorzugt ein CO_3Cl, und das zerfällt in $CO_2 + ClO$, von denen das letztere irgendwie weiterreagiert.

An Stelle der Bildung von Phosgen haben wir daher jetzt die von Kohlendioxyd,

brutto: $$2\,CO + O_2 = 2\,CO_2.$$

Weder CO noch O_2 absorbieren das sichtbare Licht. Das tut das beigemischte Chlor, die von *ihm* aufgenommene Energie wird auf dem Wege über das Atom Cl und das Radikal COCl auf CO übertragen und bringt dies so zur Umsetzung mit dem Sauerstoff.

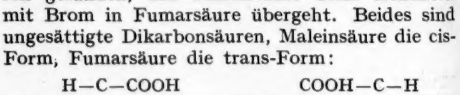
Viel einfacher noch liegt der Fall beim Äthylenjodid, dem das Jodatom unter Bildung einer Molekel J_2 ein Jodatom entzieht. Das so entstandene Radikal C_2H_4J zerfällt einfach weiter in $C_2H_4 + J$, also auch hier Regeneration eines Jodatoms, eine Kette, in der nach *einem* Primärakt $J_2 + E = 2\,J$ viele Molekeln $C_2H_4J_2$ zerlegt werden in $C_2H_4 + J_2$. Hier haben wir ausschließlich eine photochemisch sensibilisierte Reaktion: Jod absorbiert das Licht, über J und C_2H_4J wird die Energie übertragen, so daß das Äthylenjodid zerfällt.

Die photochemisch sensibilisierten Vorgänge dieser Art sind außerordentlich zahlreich. Ähnlich wie Kohlenoxyd lassen sich sehr zahlreiche Kohlenwasserstoffe, auch halogensubstituierte, ferner Wasserstoff und auch Chlorwasserstoff durch Sauerstoff oxydieren im Licht, das vom gleichzeitig anwesenden Chlor absorbiert wird.

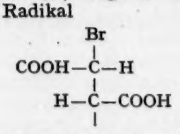
Ozon, Chlormonoxyd, Chlordioxyd, Chlorstickstoff werden zersetzt, wenn sie mit Chlor gemischt belichtet werden, wobei wiederum die aus diesem gebildeten Chloratome und verschiedene aus ihnen und den genannten Stoffen gebildeten Radikale die wirksamen Agenzien und damit die wirksamen Energieüberträger darstellen. In ähnlicher Reaktion betätigen sich die aus der Brommolekel im Licht gabespaltenen Bromatome, ähnlich die des Jods, ja selbst Fluoratome sind, beim Zerfall von F_2O, wirksam befunden worden.

Es ist unmöglich und auch unnötig, hierauf näher einzugehen. In manchen Fällen ist der Weg der Umsetzung in allen Einzelheiten klargestellt, in anderen nicht. Aber daß er über Atome und Radikale führt, das steht überall zweifelsfrei fest.

Nur einer hierher gehörigen Reaktion möchte ich noch ein paar Worte widmen, weil sie die zuerst beobachtete aus dieser Gruppe ist und weil ihre Aufklärung dem spiritus rector unserer Gesellschaft, unserem verehrten Herrn EGGERT, zu verdanken ist. WISLICENUS hat vor mehr als 50 Jahren gefunden, daß Maleinsäure beim Belichten mit Brom in Fumarsäure übergeht. Beides sind ungesättigte Dikarbonsäuren, Maleinsäure die cis-Form, Fumarsäure die trans-Form:



Der Weg der Umlagerung führt, wie EGGERT und seine Mitarbeiter 1927 zeigten, über Bromatome und über das Radikal



bei dem die freie Drehbarkeit der Atomgruppen um die C—C-Achse nicht mehr durch die Doppelbindung gehemmt ist, und das daher bei der leicht erfolgenden Wiederabspaltung des Bromatoms ebenso leicht die cis-Form, Maleinsäure, wie die trans-Form, Fumarsäure, liefert, so daß in summa die erstere, rein angewandt, in durch Brom sensibilisierter Lichtreaktion schnell in das Gleichgewichtsgemenge beider Formen übergeführt wird.

Den Halogenen ist als Sensibilisator noch ein Stoff anzuschließen, bei dem allerdings der Primärakt anderer Art ist, der Quecksilberdampf. Der besteht von vornherein aus Atomen, und diese werden durch Absorption seiner „Resonanzlinie", 2537 Å, die aus Entladungslampen, die mit niedrigem Quecksilberdampfdruck betrieben werden, in verhältnismäßig guter Energieausbeute erhalten werden kann, in metastabile angeregte Zustände überführt, die ihrerseits ihre Energie leicht und fast verlustlos auf Gasmolekeln zu übertragen vermögen.

Diese Übertragung geschieht durch Resonanz immer dann mit guter Ausbeute, wenn in den energieaufnehmenden Molekeln Schwingungen angeregt werden können, deren Energie möglichst nahe gleich der zu übertragenden Energie der Elektronenniveaus des Quecksilberatoms ist. Das ist bei den Molekeln von Wasserstoff und auch Sauerstoff der Fall, die so leicht in ihre Atome zerlegt werden. Diese Atome sind natürlich energischerer Reaktionen fähig als die Molekeln, und so werden diese Reaktionen durch Quecksilberdampf im Licht der genannten Wellenlänge sensibilisiert. Die Umsetzungen sind verschiedener Art. Die interessanteste ist die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd, die vom Atom H ausgehend über das Radikal HO_2 führt, in einer Reaktionsfolge, die heute, auch in den Einzelheiten, geklärt ist.

Diese Reaktion kann vielleicht einmal praktische Bedeutung gewinnen. Zur Zeit hat sie eine solche nicht, weil allerlei Nebenvorgänge stören. Die geschilderten Umsetzungen der Halogene haben nur wissenschaftliches Interesse. Wissenschaftliche Aufklärung und praktische Bedeutung gehen nicht immer parallel, und wenn wir nach weiteren photochemisch sensibilisierten Vorgängen Umschau halten, so finden wir zwei von der denkbar größten praktischen Bedeutung, bei denen die Aufklärung des Mechanismus noch längst nicht vollständig gelungen ist.

Der eine ist die Reaktion, auf der unsere ganze Existenz beruht: die Assimilation der Kohlensäure in den Pflanzen, wo das sichtbare Licht, das vom Chlorophyll der Blätter absorbiert wird, Kohlensäure + Wasser überführt in Kohlehydrat + Sauerstoff, und der andere ist der, dessen Entdecker wir hier zu huldigen uns vereint haben, die Entstehung des latenten Bildes in der photographischen Platte auch im Licht so langer Wellen, daß diese nicht mehr vom Bromsilber, sondern nur noch vom sensibilisierenden Farbstoff absorbiert werden.

Beide Vorgänge unterscheiden sich von den vorher geschilderten zunächst durch die Tatsache, daß sie sich nicht im homogenen System von Gas oder Lösung vollziehen, wo alle Verhältnisse einfach liegen und leicht zu übersehen sind, sondern in Adsorbaten oder im Kristallgitter. Aber sie unterscheiden sich noch weiter durch die Tatsache, daß die Energieverhältnisse ganz anders liegen. Alle die vorher behandelten Prozesse sind freiwillige Reaktionen; der Energieinhalt des Ausgangszustandes ist höher als der des Endzustandes (etwa $2\,CO + O_2$ höher als $2\,CO_2$). Man kann sagen, die photochemische Sensibilisation wirkt ähnlich wie ein Katalysator.

Hier ist es anders: Kohlehydrat + Sauerstoff haben die denkbar größte Tendenz, in Kohlensäure + Wasser überzugehen, und gegen diese Tendenz muß das vom Chlorophyll absorbierte Licht Arbeit leisten. Ähnlich liegen die Verhältnisse in der Platte. Beide Umstände, die notwendige Deckung des Energiebedarfs und die durch die minder übersichtlichen Medien der Umsetzungen bedingten Komplikationen, haben zur Folge, daß die Klärung der Verhältnisse hier bisher nur teilweise möglich geworden ist.

Was zunächst die Kohlensäureassimilation anlangt, so entspricht der Energiehub zwischen Ausgangsstoffen und Endprodukten für eine Molekel CO_2 etwa 4 Quanten sichtbaren Lichts. Seine genaue Größe ist nicht ganz leicht festzulegen, weil nicht feststellbar ist, was das Produkt des ersten Schrittes dieser Reaktion ist. Das endgültige Endprodukt ist Stärke oder gar Zellulose, beides Kohlehydrate, die aus zahlreichen Glukosemolekeln aufgebaut sind. Dieser Aufbau vollzieht sich ohne Mitwirkung des Lichts durch die Enzyme der Pflanze. Aber auch die Glukose ist wahrscheinlich nicht das unmittelbare Produkt der lichtbeförderten Umsetzung, sondern auch erst nachträglich aus kleineren Bausteinen aufgebaut. Das einfachste Produkt der Zusammensetzung CH_2O, das einfachste Kohlehydrat, wäre Formaldehyd. Man hat daher als die photochemische Reaktion einfach dessen Bildung angesetzt:

$$CO_2 + H_2O + \text{Lichtenergie} = HCHO + O_2.$$

Alle Versuche, Formaldehyd nachzuweisen, sind allerdings vergeblich geblieben. Das aber beweist nichts gegen die Möglichkeit, daß es doch das erste Produkt der Reaktion ist. Er kann so schnell weiterreagieren, daß er sich jedem Nachweis entzieht.

Diese Unsicherheit über den eigentlichen lichterzeugten Prozeß hat natürlich auch eine Unsicherheit über die von ihm beanspruchte Energie zur

Folge. Aber die ist nicht allzu groß: Auf 1 C bezogen, ist die Wärmetönung der Reaktion

$$n\,CO_2 + n\,H_2O = (CH_2O)_n + n\,O_2$$

immer etwa −112 kcal, und entspricht damit immer etwa 4 Quanten roten Lichts.

Nun hat OTTO WARBURG gezeigt, daß bei sehr schwacher Belichtung und reichlicher Konzentration von Kohlensäure durch eine bestimmte, besonders gezüchtete grüne Alge tatsächlich *eine* Molekel Kohlendioxyd in *eine* Molekel Sauerstoff unter Verbrauch von 4 Quanten roten bis blauen Lichts umgewandelt wird, d. h. daß wirklich 4 Quanten von der Energie mindestens des roten Lichts nötig sind und andererseits auch ausreichen, um an einer Molekel den Prozeß der Assimilation zu vollziehen.

Das gilt für die günstigsten Verhältnisse. Ist die Belichtung stärker — und sind Temperatur, Konzentration an Kohlendioxyd und manches andere ungünstiger —, so wird die Quantenausbeute kleiner. Das kann nicht wundernehmen. Denn es ist klar, daß an den ersten durch das Licht hervorgerufenen Vorgang anschließend sich eine Reihe Dunkelreaktionen in bestimmtem Ausmaß aneinanderreihen müssen, um das Endprodukt zu liefern, und daß es daher auf dem langen Wege viele Stellen geben muß, wo durch Rückbildung der Ausgangsstoffe oder durch Nebenvorgänge die Ausbeute an den zum Endprodukt führenden Zwischenstoffen eingeschränkt wird.

Welcher Art diese Vorgänge sind, ist zur Zeit keineswegs geklärt. Man bezeichnet sie als Blackman-Reaktionen, die also mit dem sensibilisierenden Akt der Lichtreaktion zusammen den Assimilationsprozeß darstellen.

Die schwierigste dabei zu klärende Frage ist nun diese: Wie ist es möglich, daß eine Molekel nacheinander 4 Quanten Licht aufnimmt, ohne daß zwischen den einzelnen Absorptionsakten die Energie der früher aufgenommenen nutzlos in Wärme überführt wird? Denn aus WARBURGS Versuchen geht hervor, daß 4 Quanten ausreichen, daß also bei ihnen keine Energie verlorengeht. Und das bei schwacher Belichtung, bei Zeiten zwischen dem Eintreffen der einzelnen Quanten an den einzelnen Chlorophyllmolekeln, die in der Größenordnung von Stunden liegen.

Diese Zeiten sind so lang, daß innerhalb derselben angeregte Zustände der Molekeln, sei es, daß sie in erhöhten Niveaus der Elektronenbahnen, sei es, daß sie in erhöhter Energie der Schwingungen bestehen, längst Zeit gefunden haben abzuklingen. Die einzige Form, in der über diese Zeiten erhöhte Energie erhalten bleiben kann, wäre die chemische Energie irgendwelcher Umwandlungsprodukte. Da solche bei dem einfachen System Kohlendioxyd + Wasser (oder Kohlensäure H_2CO_3) nicht denkbar sind, müßten es Umwandlungsprodukte des Chlorophylls sein oder einer Anlagerungsverbindung von Kohlensäure an Chlorphyll.

Aber die Annahme von vier solchen verschiedenen chemischen Formen des Chlorophylls führt zu unlösbaren Widersprüchen mit den Beobachtungen, die man gemacht hat z. B. über den Einfluß der Lichtintensität auf die Geschwindigkeit des Prozesses und in anderer Richtung. Nun haben EMERSON und ARNOLD Versuche gemacht, bei denen die Belichtung mit kurz dauernden Funken verschiedener Intensität vollzogen wurde und zwischen den einzelnen Belichtungen Dunkelperioden von 0,02—20 Sekunden eingeschaltet wurden. Aus diesen Versuchen und aus alten Beobachtungen von WILLSTÄTTER und SCHOTT, die bei intensivster Belichtung je Chlorophyllmolekel nur alle 20—30 Sekunden eine Sauerstoffmolekel lieferten, haben GAFFRON und WOHL geschlossen, daß nicht die einzelne Molekel des Chlorophylls der Sensibilisator ist, sondern eine „Assimilationseinheit" von etwa 2500 Molekeln, die an einer Stelle eine Kohlensäuremolekel gebunden enthält und nun die in ihrem ganzen Gebiet absorbierte Energie auf diese eine Kohlensäuremolekel überträgt, dieser damit hinreichend Energie in hinreichend kurzer Zeit liefernd, um sie zum Umsatz zu bringen.

Es ist zweifellos noch manches unklar an diesem kühnen Modell des Assimilationsvorgangs, aber eine Fülle von Tatsachen sind mit ihm in bester Übereinstimmung, und ganz unabhängig von diesen Betrachtungen über die Assimilation hat kürzlich SCHEIBE ein sehr ähnliches Agglomerat aus den Molekeln gewisser organischer Farbstoffe aufgebaut. Diese vereinigen sich bei höheren Konzentrationen in Lösungen oder noch besser auf gewissen Kristallen adsorbiert zu Komplexen, die eine große Zahl von Molekeln enthalten. Dieser Vorgang ist reversibel, beim Verdünnen, noch leichter bei Steigerung der Temperatur, zerfallen die Komplexe wieder in einzelne Molekeln. Das wäre alles nichts Ungewöhnliches und nichts, was hier interessierte. Aber diese Komplexe zeigen ein neues, sehr starkes (und sehr schmales) Absorptionsband, das die Einzelmolekeln nicht besitzen, und dieses Absorptionsband verschiebt seine Lage in kontinuierlicher Weise, wenn die Komplexe aus zwei verschiedenen Farbstoffen aufgebaut werden, deren Verhältnis zueinander stetig geändert wird.

Über diese Dinge hat uns ja Herr SCHEIBE auf der vorjährigen Tagung berichtet, so daß ich nicht weiter darauf einzugehen brauche. Es ist klar, daß hier der Komplex optisch völlig andere Eigenschaften hat als die Einzelmolekel, daß andererseits der Komplex eine Einheit darstellt wie eine Einzelmolekel, daß er also im Prozeß der Lichtabsorption gleichzeitig viele Quanten absorbieren und ihre Energie übertragen kann, genau so, wie das von der „Assimilationseinheit" von GAFFRON und WOHL verlangt wird, deren Annahme durch dies realisierte Analogon eine wertvolle Stütze erhält.

Daß diese Farbstoffe, mit denen Herr SCHEIBE operiert, gewisse Polymethinfarbstoffe sind, die heute so ausgiebig als Ultrarotsensibilisatoren in

der Photographie gebraucht werden, ist hier unwichtig. Ich will darauf bei der Besprechung der Sensibilisatoren der photographischen Schicht zurückkommen.

Der wollen wir uns also jetzt zuwenden. Vielleicht etwas spät für das Interesse, daß Sie gerade diesem Gegenstand entgegenbringen und das dieser Gegenstand vor der Büste von H. W. VOGEL beansprucht. Aber ich denke, bei einem allgemeinen Überblick über photochemische Sensibilisation sind die beiden vorigen Kapitel nicht minder wichtig als dieses.

Fragen wir auch hier wieder nach dem Primärprozeß, der mit der Lichtabsorption zunächst im Fall des Fehlens eines Sensibilisators, also der Absorption durch das Bromsilber selbst, verknüpft ist, so ist auch hier die Antwort durchaus nicht so ganz einfach. Fest steht natürlich, daß das kristallisierte Bromsilber (und analog das Chlorsilber) gespalten wird in Silber, das zu kleinsten Kriställchen zusammengelagert das latente Bild darstellt, und in Brom, das mehr oder weniger prompt von irgendeinem Akzeptor aufgenommen wird, so daß es nicht mit dem Silber wieder reagieren kann.

Aber welches die einzelnen Schritte dieses Prozesses sind, dafür gibt die Literatur trotz unzähliger dem Thema gewidmeten Arbeiten noch keineswegs ein klares Bild. Ich glaube aber durch eine die energetischen Verhältnisse mehr als bisher berücksichtigende Weiterbildung des Vorhandenen zu einer Beschreibung des Prozesses gelangt zu sein, welche die Entstehung des latenten Bildes lückenlos wiedergibt. Die einzelnen Vorgänge sind diese:

1. Primärakt: Bei der Absorption eines Lichtquants seitens des Bromions — ich will stets der Einfachheit halber nur das Bromsilber nennen, für Chlorsilber gilt das Analoge — wird ein Elektron abgespalten.

2. Folgereaktionen: Dies Elektron wird von einem Silberion aufgenommen, indem es sich mit ihm zu einem Silberatom vereinigt. Aber dies Silberion ist nicht jedes beliebige, insbesondere nicht — richtiger nur in seltenen Ausnahmefällen — eins von denen, die dem absorbierenden Bromion zunächst sitzen, sondern es muß ein fernliegendes sein, das durch irgendwelche Umstände bevorzugt geeignet ist. Diese Umstände bestehen in der unmittelbaren Nachbarschaft von schon vorhandenen Silberflecken oder von geeigneten Fremdstoffen, wie Silbersulfid. Das so entstandene Silberatom vereinigt sich *im Akt der Aufnahme des Elektrons* mit den angrenzenden Silberteilchen zu *festem* Silber und hilft so diese vergrößern zu dem kleinen Silberkriställchen, welches den Keim des latenten Bildes darstellt.

Diese Folge von Vorgängen wird den beobachteten Tatsachen befriedigend gerecht, insbesondere auch den energetischen, auf die bisher nicht hinreichend geachtet worden ist. Das will ich zunächst etwas näher ausführen.

Daß das Bromion der Bestandteil des Silberbromids ist, der das Licht absorbiert, bedarf keiner Erörterung. Daß bei diesem Absorptionsakt Elektronen frei werden und schnell danach wieder gebunden werden, folgt aus der Tatsache, daß im Licht Leitfähigkeit auftritt, daß diese nach den Untersuchungen von TOY und Mitarbeitern unabhängig von der Wellenlänge ist, und daß sie nach Beginn der Belichtung in ganz kurzer Zeit ihren Endwert erreicht, der proportional der absorbierten Energie ist. Diese freien Elektronen wandern unter dem Einfluß einer angelegten Spannung leicht durch das Gitter. Daß *sie* die Träger der beobachteten Leitfähigkeit sind, folgt aus den Messungen, die C. WAGNER über die Anlaufgeschwindigkeit von Silber in Bromdampf ausgeführt hat. Aus denen ergab sich, daß, während bei 400° die Leitung zu 999‰ durch Silberionen bewirkt wird und nur zu 1‰ durch Elektronen, bei 200° der Anteil der letzteren bereits $^1/_5$ ausmacht, so daß für Zimmertemperatur auf praktisch ausschließliche Elektronenleitung zu schließen ist.

Der Akt der Lichtabsorption ist also gekoppelt mit der Abspaltung eines frei beweglichen Elektrons aus dem Bromion, wobei das Bromatom andererseits zurückbleibt, natürlich ebenfalls frei beweglich. Wenn jetzt das Elektron vom nächstbenachbarten Silberion aufgenommen würde und aus diesem ein Silberatom machte, so wäre es völlig unverständlich, wie dies in 3 Å Entfernung neben dem Bromatom liegenbleiben sollte, ohne daß die beiden sofort wieder zu Silberbromid d. h. zu Silberion + Bromion werden sollten. Tatsächlich aber kehren die Bromatome nicht zum Silber zurück, zu nahezu 100%, wenn sie von einem energischen Akzeptor, wie Nitrit, aufgenommen werden, zu 30—50%, wenn der Akzeptor ein minder energischer ist, wie Wasser. In beiden Fällen gehen die Bromatome in die Bromionen der wäßrigen Lösungen über.

Entsprechend den Bromatomen, die als wäßrige Bromionen in dieser Quantenausbeute gewonnen werden können, sind auch die Silberatome in Form von metallischem Silber analytisch erfaßt worden. Das ist zunächst nur für sehr starke Belichtungen geschehen, die direkte Schwärzung liefern, zuerst von EGGERT und NODDAK, und danach mit ähnlichen Ergebnissen auch von anderen Seiten. Dabei besteht zweifellos eine gewisse Unsicherheit über die wirklich vom Silberbromid, nicht aber von der Gelatine absorbierte Energie, über die „wirksame" Absorption gegenüber der „unwirksamen". Ich möchte aber demgegenüber betonen, daß es meines Erachtens gar nicht wichtig ist, ob eine Quantenausbeute von 100—95% gemessen wird oder eine von etwa 50%. So gut wie die Ausbeute an freiem Brom herabgesetzt wird, wenn es nicht prompt genug von einem Akzeptor aufgenommen wird, so gut muß das natürlich in gleichem Maße auch mit der an metallischem Silber geschehen. Es kommt aber zur Klärung des photochemischen Vorganges gar nicht darauf an, daß seine Produkte einheitlich zu 100% erhalten bleiben und durch die Analyse ermittelt werden

können, wenn nur eine derartige Ausbeute als Grenzwert unter günstigen Bedingungen auftritt und wenn es plausibel ist, warum das unter ungünstigeren Bedingungen nicht geschieht.

Daß die für die sehr starken Belichtungen dieser Versuche gefundene Quantenausbeute auch bei den schwachen Belichtungen erhalten wird, wie sie für die Erzeugung des latenten Bildes geeignet sind, ergibt sich aus älteren Messungen des POHLschen Instituts, dann aber auch aus einer neuen Arbeit von VAN KREVELD und JÜRRIENS, die mit einer äußerst empfindlichen Absorptionsmethode (bei 5900—7000 Å) die Färbung gemessen haben, welche das abgeschiedene Silber in der photographischen Platte erzeugt. Sie ist bei gegebener Lichtstärke proportional der Zeit, und zwar bis herunter zu ganz schwachen Expositionen, die kaum größer sind als die zur Erzeugung des latenten Bildes nötigen.

Daraus folgt also, daß die Silberkeime des latenten Bildes mit einer Quantenausbeute erzeugt werden, die unter günstigen Bedingungen nahe an 1 herauskommt. Das aber setzt, wie oben gesagt, voraus, daß nicht das nächstbenachbarte Silberion das vom Bromion abgegebene Elektron aufnimmt, sondern erst ein ferneres, dessen räumliche Trennung durch die dazwischenliegenden Gitterteile seine Rückreaktion mit dem Bromatom verhindert.

Daß nun nicht ein beliebiges Silberion das Elektron aufnehmen soll, das erscheint zunächst etwas gezwungen. Silber ist ja doch ein sehr edles Metall und durchaus geneigt, aus einer Verbindung sich metallisch abzuscheiden. Das entspricht unserem „chemischen Gefühl". Aber es ist in der Anwendung auf den Fall der photographischen Schicht falsch. Wenn wir so argumentieren, übersehen wir die Tatsache, daß das Silberatom, das sich bilden soll, ganz und gar nicht identisch ist mit dem im festen Silber gebundenen. Wir kennen freie Silberatome als die Substanz des Silberdampfes. Ihr Energieinhalt ist um die Sublimationswärme größer als der des festen Silbers, und damit sind sie um 66 kcal je Grammatom energiereicher.

Da wir ferner die Verdampfungswärme des Broms und seine Dissoziationswärme kennen, ebenso die Bildungswärme des Bromsilbers aus festem Silber und flüssigem Brom, so können wir für die Bildungswärme des kristallisierten Bromsilbers aus Silberatomen und Bromatomen den Wert 114 kcal ableiten, wie sich aus folgender Summierung ergibt:

$Ag_{fest} + {}^1/_2\,Br_{2\,flüssig}$	$= (Ag^+ + Br^-)_{im\ Kristall}$	$+ 22$ kcal
${}^1/_2\,Br_{2\,Dampf}$	$= {}^1/_2\,Br_{2\,flüssig}$	$+ 3$ kcal
Br	$= {}^1/_2\,Br_{2\,Dampf}$	$+ 23$ kcal
Ag	$= Ag_{fest}$	$+ 66$ kcal
$Ag + Br$	$= (Ag^+ + Br^-)_{im\ Kristall}$	$+ 114$ kcal

Nun genügt das langwelligste Licht, das vom Bromsilber gut absorbiert wird, etwa $\lambda = 4800$ Å entsprechend 60 kcal pro Mol, um Leitfähigkeit zu erzeugen, d. h.

$$Br^-_{im\ Kristall} + 60\ \text{kcal} = Br + \ominus$$

Das liefert mit Obigem vereinigt

$$Ag^+_{im\ Kristall} + \ominus \qquad = Ag - 54\ \text{kcal}$$

Die Aufnahme eines Elektrons durch ein Silberion im Bromsilbergitter bedarf daher der Zufuhr von 54 kcal je Mol. Dabei ist als langwellige Grenze für die Abspaltung des Elektrons aus dem Bromion 4800 Å angenommen. Schwach empflindlich ist die Emulsion aber auch im roten Licht. Daß hier die Empfindlichkeit so schwach ist, liegt nach EGGERT und BILTZ wahrscheinlich nur daran, daß dies Licht so schwach absorbiert wird. Es ist daher durchaus möglich, daß auch Licht dieser längeren Wellen die Abspaltung des Elektrons bewirken kann. Dann würden die obigen 60 kcal kleiner und die 54 kcal größer: die Aufnahme des Elektrons durch ein Silberion wird noch unmöglicher.

Das wird anders, sobald nicht ein freies Silberatom sich dabei bildet, sindern eines, das mit anderen im Verband festen Silbers sich befindet. Dann gehen von den aufzuwendenden 54 oder mehr Kilocalorien die 66 kcal Sublimationswärme ab; es können also sehr wohl solche Silberionen das Elektron aufnehmen, bei denen im Akt der Aufnahme festes Silber entsteht.

Das vom Bromion im Absorptionsakt abgegebene Elektron muß also zunächst im Kristall vagabundieren, bis es ein solches bevorzugtes Silberion findet, mit dem es zusammentreten kann, während es andererseits von den Bromatomen leicht wieder aufgenommen werden kann, wenn diese nicht inzwischen durch irgendeinen Akzeptor in die Bromionen der wäßrigen Lösung oder — etwa durch die Gelatine — in organisch gebundenes Brom übergeführt worden sind.

Diese einfache Energieberechnung ist die Erklärung für die bekannte Tatsache, daß das Silber des latenten Bildes sich dort abschneidet, wo bereits Spuren von Silber vorhanden sind — oder Spuren von Schwefelsilber, das wie metallisches Silber weitere Silberatome aufnehmen kann. Und sie macht die fundamentale Bedeutung des Reifungsprozesses verständlich, der im Reifsilber die nötigen „Vorkeime" für die Silberkeime des latenten Bildes liefert.

Es gibt eine Reihe von Beobachtungen der unendlich ausgedehnten photographischen Forschung, die ebenso wie die meisten der von POHL und Mitarbeitern gemachten in den Rahmen dieser Auffassung ohne weiteres hineinpassen, manche wohl auch, die es zunächst nicht tun und bei denen es weiterer Überlegungen bedarf, um sie einzuordnen.

Die im vorstehenden geschilderte Folge der Einzelvorgänge liefert, wie ich glaube, eine abgeschlossene Schilderung der Entstehung des latenten Bildes, die alle Erscheinungen dieses Vorgangs verstehen läßt. Das Wesentliche an ihr ist

die Aufteilung des „inneren Photoeffekts", des Überganges des Elektrons vom Bromion auf das Silberion, in 2 Akte. Nur die Abtrennung des Elektrons ist der mit der Lichtabsorption verbundene Primärakt. Die Aufnahme des Elektrons durch das Silberion ist eine Folgereaktion. Sie ist energetisch an sich unmöglich und kann daher nur dann stattfinden, wenn das vagabundierende Elektron ein Silberion findet, das an ein Aggregat von mehreren Silberatomen, einen „Vorkeim" von festem Silber, grenzt und so in der Lage ist, durch Aufnahme des Elektrons nicht in ein einzelnes Atom Silber, sondern in festes Silber überzugehen.

Nun die Sensibilisierung des Vorganges für die längeren Wellen! Daß der sensibilisierte Farbstoff diese absorbieren muß, ist selbstverständlich. Ebenso, vielleicht eine Spur weniger, selbstverständlich ist es, daß er in inniger Berührung stehen muß mit dem Bromsilberkorn: in der Gelatine aufgenommener Farbstoff sensibilisiert nicht, sondern wirkt höchstens durch unnütze Absorption des Lichts schädlich. Er muß an Bromsilber adsorbiert sein. Das kann an der äußeren Begrenzung des Korns sein, es kann aber ebensogut sein an der Grenze der einzelnen Kristallite, die das Bromsilberkorn zusammensetzen, ja er könnte auch in das Kristallgitter eingebaut sein — ich weiß nicht, ob das praktisch in Frage kommt. Denn in allen Fällen sind ja die abgelösten Elektronen frei im Bromsilberkristall beweglich und können sich daher unabhängig von ihrem Ausgangsort die geeigneten Silberionen suchen.

Wie kommt nun die Übertragung der vom Farbstoff absorbierten Energie auf das Bromsilber zustande? Hier muß als eine für die Deutung des Vorgangs fundamental wichtige Tatsache zunächst die genannt werden, daß *eine* Farbstoffmolekel diese Übertragung mehrfach vollziehen kann: sie absorbiert die Energie, gibt sie weiter und ist danach zu neuer Aktion bereit. Das ist von Herrn EGGERT und seinen Mitarbeitern an photographischen Schichten erwiesen worden, wo 20, 64, 8 u. dgl. frei gewordene Silberatome je Farbstoffmolekel gefunden wurden, und in einer neuen Untersuchung von BOKINIK und ILJIENA ist Analoges auch für ein gelatinefreies System nachgewiesen worden.

Da wäre die einfachste Deutung die einer rein physikalischen Energieübertragung durch Resonanz in voller Analogie zu der, die vom angeregten Quecksilberatom zur Wasserstoffmolekel führt und sich in deren Zerfall in Atome kundgibt. Diese Deutung würde es vollkommen verständlich machen, daß keineswegs jeder Farbstoff mit einem passenden Absorptionsspektrum als Sensibilisator brauchbar ist: diese Energieübertragung setzt eine Resonanz der Energiesprünge zwischen Geber und Nehmer voraus, die nur bei einzelnen Farbstoffen vorhanden sein kann. Eine Diskussion dieser Möglichkeit ist meines Wissens in der Literatur nicht vorhanden.

Dagegen ist eine andere mehrfach erörtert und auch experimentell behandelt worden. Ihr erster Schritt wäre die Abgabe eines Elektrons seitens des Farbstoffs. Dieser Schritt ist unabhängig von der Sensibilisation realisierbar: die sensibilisierenden Farbstoffe zeigen beim Belichten Leitfähigkeit, wie schon 1905 von JOLY beobachtet wurde, ja nach einer Untersuchung von ZSCHODRO zeigte sich bei 3 Farbstoffen (Cyanin, Pinaverdol und Pinachrom) ein quantitativer Parallelismus zwischen Leitfähigkeit und Sensibilisierungsvermögen.

Das vom Farbstoff abgegebene Elektron würde nun im Bromsilber genau so vagabundieren, bis es ein geeignetes Silberion gefunden hätte, und dann mit diesem ein Silberatom geben, das sich an einen vorhandenen „Vorkeim" als festes Silber anlagert.

Aber damit ist der Prozeß nicht zu Ende; einerseits muß der Farbstoff regeneriert werden, damit er zu neuer Wirkung bereit ist, d. h. er muß ein Elektron wieder aufnehmen, und andererseits muß im Bromsilberkorn die Elektroneutralität wiederhergestellt werden, die durch Wegfall des Silberions gestört ist. Beides geschieht gleichzeitig, wenn nunmehr das Elektron des Bromions auf die Farbstoffmolekel übergeht, wobei zugleich die ebenfalls nötige Forderung nach einer der Silberbildung äquivalenten Abscheidung von Brom erfüllt wird.

Es ist danach sowohl eine rein physikalische Energieübertragung vom Sensibilisator auf das Bromsilber denkbar wie eine Abspaltung des Elektrons im Sensibilisator und Übertritt desselben in das Bromsilber, und da der erste Schritt dieses letzteren Prozesses im Experiment für sich realisiert worden ist, so erscheint dieser mehr chemische Weg der Sensibilisierung vielleicht plausibler.

Aber so oder so: es ist in allen Fällen nicht leicht zu verstehen, wie die geringe Energie der ultraroten Wellen, die für die heutigen Sensibilisierungen genügen, ausreichen soll für die auftretenden Leistungen. Die heutige Grenze liegt bei 13000 Å, entsprechend 20 kcal je Mol. Diese Energie müßte ausreichen, um dem Bromion das Elektron zu entreißen. Das ist bei Annahme rein physikalischer Energieübertragung ohne weiteres evident, und das gleiche ist auch bei der chemischen der Fall: hier ist die des Elektrons beraubte Farbstoffmolekel mit 20 kcal aufnahmebereit für das Elektron, das das Bromion ohne weitere Energiezufuhr loslassen müßte.

Ein kleiner Energiezusatz mag der Wärmebewegung entnommen werden, der in um so selteneren Einzelakten ausreichen wird, je energieärmer, je langwelliger die Quanten des Lichts sind, wie das der nach langen Wellen abnehmenden Empfindlichkeit der sensibilisierten Platten entspricht. Und da wir über die wirkliche Größe der Elektronenaffinität des Bromatoms im Bromsilberkristall nichts aussagen können (die des freien Bromatoms mit 80 kcal je Mol kommt hierfür

natürlich nicht in Frage), so ist es immerhin denkbar, daß sie nicht mehr als etwa 25 kcal beträgt, so daß die obigen 20 kcal mit einem kleinen Zuschuß Wärmeenergie ausreichen.

Aber es ist auch durchaus denkbar, daß dem nicht so ist. Dann hätten wir denselben Fall wie bei der Assimilation der Kohlensäure: *ein* Quant des absorbierten Lichts würde nicht ausreichen, um *eine* Molekel umzusetzen. Dort wurde die Schwierigkeit gelöst durch die Annahme der Assimilationseinheit, die, aus vielen Chlorophyllmolekeln bestehend, in der Lage ist, die von vielen Molekeln des Sensibilisators absorbierte Energie gesammelt einer Molekel des reagierenden Stoffes zuzuführen. Wollen wir das Analoge hier annehmen, so müßte eine Sensibilisationseinheit gebildet sein aus vielen Molekeln des Farbstoffes. Und da ist es nun in höchstem Maße bemerkenswert, daß dieses Aggregat von Farbstoffmolekeln gerade für diese Ultrarot-Sensibilisatoren von Herrn SCHEIBE realisiert worden ist, zunächst ganz ohne Zusammenhang mit den Problemen der Photographie, aber mit der klar erwiesenen Fähigkeit, mehrere absorbierte Quanten gleichzeitig an einer Stelle sich auswirken zu lassen.

So ist es recht wahrscheinlich, daß die energetischen Schwierigkeiten, zu denen das Vordringen der Sensibilisierung so tief ins Ultrarot geführt hat, in derselben Weise zu lösen sind wie die analoge Schwierigkeit bei der Kohlensäureassimilation bei der Pflanze. Es ist dabei durchaus möglich, daß die Sensibilisatoren, mit denen H. W. VOGEL arbeitete und bei denen die Energie des Lichts noch eher ausreichen kann, um für *ein* Quant *ein* Elektron aus einem Bromion abzuspalten, nicht imstande sind, Aggregate von der von Herrn SCHEIBE gefundenen Art zu bilden. Aber bei ihnen wäre derartiges auch nicht nötig. Für die modernen Ultrarot-Sensibilisatoren ist diese Aggregation aber wohl vorläufig die plausibelste Deutung der energetischen Möglichkeit ihrer Wirkung — und dann wäre mit 13000 Å noch längst nicht die Grenze einer Sensibilisierungsmöglichkeit erreicht.

Die Probleme der Sensibilisation in der photographischen Schicht sind durch die vorgetragenen Darlegungen keineswegs erschöpft; insbesondere wäre wohl die Erscheinung der Desensibilisierung durch die gleichen Farbstoffe einer Erörterung wert. Doch glaube ich, daß es sich hier ebenso wie bei der Solarisation um eine sekundäre Weiterveränderung der Silberkeime handelt, die das latente Bild darstellen. So interessant diese Erscheinung ist, ich will eine Besprechung derselben nicht versuchen, zumal dazu zweifellos mehr Kenntnisse des Tatsachenmaterials gehören, als ich sie besitze, da ich mich bis zur Ausarbeitung dieses Vortrags eigentlich niemals, mindestens nicht mehr seit 30 Jahren, mit der photographischen Schicht anders denn als praktischer Photograph beschäftigt habe.

Die Duplizitätstheorie.

Von G. VON STUDNITZ, Halle/Saale.

(Schluß*.)

VI.

In ihrer Erklärungsmöglichkeit sehr viel weniger eindeutig sind gewisse Befunde der Elektrophysiologen, die hier Erwähnung finden sollen, da sie immerhin einen weiteren Unterschied zwischen Stäbchen und Zapfen aufzuzeigen geeignet sind. Ich meine das *Auftreten oder Fehlen des „Aus-Effektes"*.

Setzt man die Belichtung eines Auges oder einer isolierten Netzhaut herab, so zeigt der Aktionsstrom die als Aus-Effekt bezeichnete positive Schwankung. Diese ist nun nach GRANITS (1936) Untersuchungen bei den vorwiegend mit Stäbchen versehenen Augen klein und langsam verlaufend, bei den stark mit Zapfen versorgten Netzhäuten dagegen groß und von schnellem Ablauf. Leider sind diese Versuche jedoch, soweit ich sehe, niemals an ganz reinen Stäbchen- oder Zapfenretinae ausgeführt worden.

Eine Erklärung für diesen Unterschied vermögen wir um so weniger zu geben, als bis heute unbekannt ist, welchen retinalen Vorgang der Aus-Effekt eigentlich ausdrückt (vgl. auch GRANIT 1938) und aus welchen retinalen Komponenten er sich zusammensetzt. Die Lösung dieser Frage erscheint mir nur noch schwieriger, nachdem HARTLINE (1938) feststellte, daß die Wirbeltierretina dreierlei Elemente bezüglich ihrer bei Belichtung („b"-Welle) bzw. Beschattung (Aus-Effekt) auftretenden positiven Schwankung aufweist: 1. solche, die bei Erhöhung der Intensität eine b-Welle, bei Herabsetzung aber keinen Aus-Effekt zeigen. 2. Elemente, bei denen dies der Fall ist, und 3. endlich solche, bei denen die b-Welle ausfällt, die dafür aber bei Intensitätsverminderung mittels eines Aus-Effektes reagieren. Diese 3 Typen können wir den 2 uns bekannten um so weniger einordnen, als sie in der Retina gleichmäßig verteilt sein sollen, keiner der 3 Effekte also vorzugsweise auf Fasern aus einem bestimmten retinalen Bezirk beschränkt ist.

VII.

Sehr viel klarere Einblicke in die Duplizität der retinalen Erscheinungen bieten uns aber wieder die in der Netzhaut besonders der niederen Wirbeltiere beobachtbaren *Bewegungserscheinungen*. Es mag hier der Hinweis genügen, daß sich die Zapfen oberhalb einer gewissen Helligkeit kontrahieren und damit in Richtung der einfallenden Lichtstrahlen, an die Membrana limitans externa wandern, die als die Bildebene, die Ebene des deutlichsten Sehens angesehen werden muß. Die Stäbchen, die bisher

*) Vgl. Heft 9, S. 129.

diesen Platz einnahmen, räumen ihn den Zapfen ein, indem sie sich unter Streckung ihrer Innenglieder in die Tiefe der Sinneszellschicht zurückziehen. Sie kehren erst wieder zurück, wenn die Außenhelligkeit auf einen Grad herabsinkt, der die Bedingungen des Dämmerungssehens schafft und demgemäß die Zapfen zur Streckung veranlaßt.

Wenn schon kaum ein schönerer Beweis für die Doppelfunktion des retinalen Sinneszellapparates denkbar ist als diese Tatsache allein, so wird er im Sinne der Duplizitätstheorie durch die schönen Versuche v. FRISCHS (1925) zur höchsten Vollendung geführt. v. FRISCHS auf Farben dressierte Ellritzen zeigten in Streckung übergehende Zapfen bei genau der Intensität, bei der sie ihre farbigen Dressurscheiben mit farblosen zu verwechseln begannen, das Farben- und Tagessehen also dem farblosen Dämmerungsintervall wich.

Daß es sich hierbei nicht um ein zufälliges, sondern um ein durch gleiche Ursachen bedingtes Zusammentreffen handelt, konnten v. STUDNITZ (1932, 1937), HONJO (1935), WIGGER (1937) und NOVER (1939) belegen, indem sie den Nachweis erbrachten, daß die retinalen Bewegungen durch die Menge der durch das Licht geschaffenen Zersetzungsprodukte der Zapfensubstanz reguliert werden.

VIII.

Als sehr wichtiges Beweisstück für die Duplizitätstheorie ist stets die Unterschiedlichkeit des Farbensinns innerhalb der Wirbeltierreihe gewertet worden. Genau wie wir nämlich beim Totalfarbenblinden gerade auf Grund der Duplizitätstheorie auf einen Ausfall bzw. zumindest eine Unterfunktion des Zapfenapparates schließen mußten, so muß umgekehrt die Untersuchung des Farbensehens von Tieren mit reinen Stäbchenretinae eine Berechtigung dieses Schlusses und darüber hinaus eine weitere Stütze für die Duplizitätstheorie liefern.

Über die zur Ermittlung eines Farbensinnes einzuschlagende Methodik herrscht heute dank vorzüglicher und einwandfreier Arbeiten grundsätzlich keine Unklarheit mehr. Trotzdem muß festgestellt werden, daß immer noch wieder Arbeiten erscheinen, die den an derartige Untersuchungen zu stellenden Anforderungen keineswegs voll gerecht werden, selbst dann, wenn die größte Gefahrenquelle, die Unterscheidung nach dem Helligkeits- und nicht nach dem Farbwert, erkannt und betont wurde. So haben wir leider auch aus neuerer Zeit nicht ebenso viele zuverlässige Angaben über einen Farbensinn wie Arbeiten über dieses Gebiet.

An dieser Stelle interessiert besonders die Fähigkeit derjenigen Tiere, homogene Lichter qualitativ zu unterscheiden, deren Retina vorzüglich oder ausschließlich Stäbchen besitzt.

Eine große Zahl derartiger Wirbeltiere ist leider auf einen Farbensinn überhaupt noch nicht untersucht, obwohl das in den meisten Fällen keine größeren Schwierigkeiten bieten würde als bei den übrigen Vertebraten. Ich denke da an die Selachier, gewisse Tiefseeteleostier und Geckonen, die Fledermäuse, den Maulwurf, einige Nachtaffen und Pinnipedier. Es verbleiben uns für unsere Zusammenstellung also eigentlich nur der Igel, das Meerschweinchen, die Mäuse und Ratten, obwohl man bei letzteren bereits 1% Zapfen innerhalb ihrer Stäbchenfülle annimmt; dieser Prozentsatz ist aber ungleich geringer als bei weiteren Mammaliern, deren Retina ebenfalls überwiegend Stäbchen aufweist, wie z. B. die Didelphiden (Opossum), das Kaninchen und die Katze.

Ratten und Mäuse scheinen tatsächlich total farbenblind zu sein (WATSON 1913, HOPKINS 1925, COLEMAN und HAMILTON 1933); die Ausnahmen (die Rötelmaus nach SÄLZLE 1936) wären durch einen höheren Prozentsatz an Zapfen (4%) verständlich. Ganz Ähnliches wie für die meisten Ratten und Mäuse gilt nach WASHBURN und ABBOTS (1912) und WATSONS (1913) Versuchen auch für das Kaninchen; BROWNS (1936) gegenteiligen Befund vermögen wir aus methodischen Gründen nicht zu werten. Bezüglich des Igels und Meerschweinchens scheint mir die Entscheidung, ob Farbensinn vorliegt oder nicht, noch nicht endgültig zu sein (vgl. HERTER 1933, SGONINA 1936). Total farbenblind ist nach MÜLLER (1930) ferner der Iltis und nach DEVOSS und GANSON (1915) sogar die Katze. Das gleiche gilt für den Waschbären (DAVIS 1907) und die Lemuren (BIERENS DE HAAN 1930); leider fehlt in diesen beiden Fällen das histologische Bild der Retina.

Die übrigen Daten aber stützen die Auffassung von der Dualität des Lichtrezeptorenapparates im Wirbeltierauge durchaus, zumal ein Farbensinn bei den übrigen Wirbeltieren dort stets nachgewiesen werden konnte, wo ihn das Auftreten von Zapfen vermuten ließ.

IX.

Nach allem Vorstehenden ist es verständlich, wenn die Duplizitätstheorie heute nicht eigentlich mehr als Theorie, vielmehr als ein aus zahlreichen Steinen der verschiedensten Art festgefügtes und unerschütterlich erscheinendes Tatsachengebäude angesehen wird.

Trotzdem werden gerade in den letzten Jahren Stimmen laut, die an der Duplizitätstheorie zweifeln und die wir um so weniger überhören dürfen, als sie nicht nur an ihrem französischen Ursprungsort, sondern auch bei uns — im Gegensatz übrigens zu den angelsächsischen Ländern — eine gewisse Resonanz zu finden scheinen. Ich denke dabei vor allem an die große Zahl der in den letzten Jahren (1933—1938) von Fräulein MARIE-LOUISE VERRIER veröffentlichten Arbeiten.

Es ist der Beachtung wert, daß diese Stimmen aus einem Lager kommen, aus dem heraus die Duplizitätstheorie ihre ersten Schritte tat: der vergleichenden Histologie. Denn wenn auch v. KRIES (1929) „Wert darauf legt, festzustellen, daß der entscheidende Anstoß für jene Annahme durch die

funktionellen Verhältnisse gegeben worden ist, und daß diese für sich allein genügen, um sie in hohem Grade wahrscheinlich zu machen" (S. 687), so dürfen wir doch die vergleichend-anatomische Pionierarbeit M. SCHULTZES und den großen Wert zoologischer Erkenntnisse im Rahmen der Duplizitätstheorie auch jetzt nicht vergessen.

Diese Dualität ist nun, das soll und muß hier noch einmal mit aller Schärfe betont werden, tatsächlich ausschließlich eine solche *physiologischer Art*, die durch die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen *Sehstoffe*, nicht aber durch die Form oder Gestalt ihrer Behälter, der Sinneszellen, bestimmt wird! Letzteres vermöchten wir nicht in einem einzigen Fall auch nur wahrscheinlich zu machen — abgesehen von allen bisher aufgezeigten und ausschließlich auf die Eigentümlichkeiten der Sehstoffe zurückführbaren Unterschieden zwischen „Stäbchen" und „Zapfen" verweise ich hier nur auf die stäbchenförmigen Zapfen der Fovea und die Vermittlung des Farbensehens durch so verschiedene Rezeptoren, wie sie etwa die Zapfen der Wirbeltiere, die Stäbchen der Cephalopoden oder die Retinulazellen und Rhabdome der Facettenaugen darstellen!

Wir haben nun bei den Wirbeltieren in den meisten Fällen das „Glück", daß sich die Träger der verschiedenen Sehstoffe untereinander nicht nur durch diese, sondern daneben auch noch durch eine verschiedene Gestalt unterscheiden. Hierdurch ist auch der vergleichenden Histologie und Anatomie eine Aufgabe im Rahmen der Erforschung der physiologischen Dualität des Rezeptorenapparates des Wirbeltierauges zugewiesen. Diese Aufgabe kann jedoch nicht darin bestehen, von den morphologischen Befunden aus die Frage der Existenz einer physiologischen Duplizität zu entscheiden.

Es ist selbstverständlich unmöglich, die *funktionelle* Verschiedenheit des Sehapparates — und auf diese allein kommt es doch an! — dann zu leugnen, wenn sie nicht auch aus dem histologischen Bild der Retina ohne weiteres ersichtlich ist. Derartige Untersuchungen histologischer Art haben mit der Aufzeigung der zwischen Form und Funktion bestehenden Grenzen ihre Aufgabe erfüllt, ohne jedoch bisher unsere Erkenntnis von der Funktion selbst irgendwie verändert zu haben. Der Mangel dieser auch schon bei PÜTTER (1908) und v. KRIES (1929) anklingenden Einsicht erklärt zur Hauptsache die Fülle der durch VERRIERS Arbeiten verbreiteten Fehlschlüsse.

Diese beziehen sich jedoch nicht ausschließlich auf die soeben umrissene grundsätzliche Verkennung der Sachlage, sondern darüber hinaus auch auf Einzelfragen von in unserem Zusammenhange nicht untergeordneter Bedeutung.

Sie alle entspringen ohne Ausnahme dem weiteren prinzipiellen Irrtum, biologische Extreme bezüglich der Beleuchtungsoptima aufzustellen — darauf, daß dies in der Mehrzahl der Fälle in noch dazu gänzlich irriger Weise geschieht, kann hier nicht eingegangen werden — und dementsprechend auch histologische im Sinne völliger Uniformität der Retina erwarten.

Es ist unmöglich, hier auf Einzelheiten einzugehen. Es muß nur darauf hingewiesen werden, daß auch schon ohne die durch die Physiologie und Histologie gemachte Erfahrung, daß streng uniforme Netzhäute innerhalb der Wirbeltierreihe verhältnismäßig selten anzutreffen sind, aus reinen Zweckmäßigkeitserwägungen und aus der Biologie der meisten Tiere zu schließen ist, daß Begriffe wie „Tag-" und „Nachttiere" nur relativ zu verstehen sind. Die einen gehen eben *vorwiegend* am hellen Tage, die anderen mehr in der Dämmerung ihrem Nahrungserwerb nach, ohne daß jedoch vermehrte Aktivität in diesem Intensitätenbereich unbedingt völlige Blindheit in dem anderen nach sich zieht. Das hat die — exakte! — Beobachtung der Lebensgewohnheiten der verschiedenen Tiere längst gelehrt, und bedingt finden wir diese verschiedenen Helligkeitsoptima durch ein *Überwiegen* des „Tagesapparates" bei den „Tagtieren", des „Dämmerungsapparates" bei den „Nachttieren". Das Vorkommen auch des anderen Typs bei den einen wie den anderen braucht uns dabei ebensowenig zu wundern, wie die tatsächlich stets beobachtbare Überschneidung der Lebensabläufe; ich erinnere hier nur daran, daß typische „Tagvögel", wie Hühner, Tauben, Drosseln, des Morgens *schon* und des Abends *noch* rege sind, wenn echte Dämmerungstiere wie Schnepfen und Fledermäuse in der Frühe noch aktiv sind oder am Abend ihre Tätigkeit schon wieder beginnen! Auch uns Menschen selbst wird niemand als „Dämmerungs-" oder gar „Nachtwesen" bezeichnen, und dennoch stehen den 110—125 Millionen Stäbchen in unserer Netzhaut nur 6—7 Millionen Zapfen gegenüber, wobei allerdings — und das ist das Entscheidende! — die zentralen und vorwiegend zur Perzeption benutzten Stellen des deutlichsten Sehens ausschließlich Zapfen aufweisen, und das in einer größten Dichte, die der der Stäbchen ungefähr gleichkommt (ØSTERBERG 1935).

Betrachten wir diesen Teil der Duplizitätstheorie von dem soeben umrissenen Gesichtspunkt, so muß in der Tat festgestellt werden, daß bei allen Tieren, die wir als lichtscheu und die Dämmerung liebend kennen, die Stäbchen in der Retina überwiegen oder ausschließlich vertreten sind; eine nahezu oder ganz reine Zapfennetzhaut dagegen tritt stets nur bei jenen auf, die wir auch oder gar ausschließlich am hellen Tage rege finden.

Damit findet also die Duplizitätstheorie nicht nur durch die im weiteren Verlauf ihrer Bearbeitung erbrachten Ergebnisse mehr physiologischer Natur ihre Stütze, sondern auch durch die Erfahrungen der vergleichenden Histologie, die mit SCHULTZES klassischen Befunden ihre Keimzelle bildeten.

X.

Dieser histologischen Seite der Duplizitätstheorie erwächst eine Schwierigkeit, die wir auch heute noch nicht restlos zu meistern wissen. Es

ist dies die Frage nach der generellen Gültigkeit der Charakteristik der Sehpurpurträger durch eine Stäbchen-, der Zapfensubstanzbehälter durch eine konische Form des Außengliedes. Es hat sich nämlich gezeigt, daß eine Unterscheidung nur nach der Form des Außengliedes nicht immer möglich oder ganz sicher ist. In der für scharfes Sehen vor allem in Frage kommenden Fovea sehen wir z. B. die „Zapfen" mehr und mehr an Breitenausdehnung verlieren, in der Länge dagegen zunehmen, wodurch einerseits im Dienste der Sehschärfe eine größere Häufung von Elementen auf der Feldeinheit ermöglicht, andererseits aber auch der Unterschied zu den Stäbchen fast bis zur Unkenntlichkeit verwischt wird. Weiter hat uns die vergleichende Anatomie mit einer ganzen Reihe von Sehzellen bekannt gemacht, die gerade bezüglich des Außengliedes von dem Typ der Stäbchen bzw. Zapfen abweichen, und darin gewissermaßen eine Mittelstellung zwischen beiden Sorten einnehmen, ohne daß ihre Zuordnung zu der einen oder anderen ohne weiteres möglich wäre. Für diese Fälle hat man sich nach einem anderen, sichereren Unterscheidungsmerkmal schon zu Zeiten SCHULTZES umgesehen, ohne damit bis heute zu einem völlig befriedigenden Ergebnis gekommen zu sein.

Das Nächstliegende wäre der Versuch einer Trennung der Sehzellen nach ihren Sehstoffen als dem für die Funktion entscheidendsten Merkmal. Auch dies ist nicht immer ohne Schwierigkeiten. Eine grobe Orientierung darüber, ob eine Netzhaut überhaupt Sehpurpur und damit „Stäbchen" enthält, wird meist schon durch die bloße Betrachtung einer im dunkeladaptierten Zustande isolierten Retina bei Einbringen in Tageslicht möglich sein. Wird die rote Farbe des Sehstoffes durch die gleichgefärbter Zapfenölkugeln verdeckt, so kann nur die Herstellung und Prüfung von Lösungen zum Ziel führen. Ausschließlich dieser Weg bleibt zum Nachweis der Zapfensubstanz in einer Retina. Bei gemischten Netzhäuten sagen diese Methoden jedoch noch nichts über den Sitz des Sehstoffes oder die Anordnung seiner Träger und deren Charakteristik aus. Der histologische Nachweis des Sehpurpurs durch die einzige bisher für ihn bekannte spezifische Fixierung und gleichzeitige Färbung durch Platinchlorid versagt dort, wo die Stäbchen nur geringe Mengen dieses Stoffes enthalten; für die Zapfensubstanz sind derartige Mittel überhaupt noch nicht bekannt. Im Zoologischen Institut in Halle werden augenblicklich durch GRAWERT in dieser Richtung gehende Versuche angestellt. — Die Umständlichkeit dieser Wege hat sie sehr wenig Benutzer finden lassen.

Die „typischen" Stäbchen und Zapfen z. B. der Knochenfische und Säugetiere unterscheiden sich außer durch ihren Sehstoff und die Form ihres Außengliedes noch durch eine Reihe anderer Merkmale, die uns im wesentlichen schon M. SCHULTZE aufzeigte. Er wies auch bereits nach, daß auch diese Charakteristika in keinem Falle Allgemeingültigkeit besitzen.

Das gilt zunächst für die Verschiedenheit der Sehzellenkerne. Stäbchen und Zapfen der Teleostier und Mammalier unterscheiden sich durch die Größe ihrer Kerne und auch durch deren Chromatingehalt; die Zapfen besitzen große, runde, chromatinarme, die Stäbchen kleine, ellipsoide und chromatinreiche Kerne. SCHULTZES Befund, daß sich die Stäbchen- und Zapfenkerne der Amphibien und Sauropsiden weder in dieser Weise, noch überhaupt mit Sicherheit trennen lassen, ist durch zahlreiche Nachuntersucher immer wieder bestätigt worden[1]). Das gleiche gilt für die bei Fisch- und Säugerstäbchen beobachtbare knopfförmige Endigung der Sehzellenfaser an der Bipolare, die der dendritenförmigen der Zapfenfaser scharf gegenübersteht: Die Stäbchen- und Zapfenfasern der Amphibien und Sauropsiden — mit Ausnahme der der Nachtvögel — endigen gleichmäßig dendritisch an ihrer Bipolare. Auch eine Charakteristik der Zapfen durch die in ihren Ellipsoiden gelegenen Ölkugeln ist nicht durchweg möglich: diese Gebilde fehlen den Foveazapfen gewisser Reptilien und Vögel, denen der Fische und höheren Säuger überhaupt und sind andererseits in den Stäbchen einiger niederer Fische zu finden.

Vielleicht wird einmal die von RAMON Y CAJAL gefundene und hauptsächlich bearbeitete Art der nervösen Ableitung ein histologisch allgemein gültiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Sehpurpur- und Zapfensubstanzträgern abgeben. RAMON Y CAJAL zeigte für eine ganze Reihe von Wirbeltieren, daß jeder Zapfen mit einer einzigen Ganglienzelle nervös verbunden ist, individuell ableitet, während die Stäbchen zu Sinneszellverbänden in mehr oder weniger großer Zahl zusammengekoppelt an einer Ganglienzelle hängen. Es ist dies eine anatomische Grundlage für die größere, durch den Zapfenapparat vermittelte Sehschärfe bzw. die größere Lichtausnutzung durch die Stäbchen. Zu der exakten Erkennung dieses Merkmals bedarf es jedoch so spezieller und sorgfältiger histologischer Methoden, daß dieses Kennzeichen wohl auch in Zukunft nur eine sekundäre Rolle spielen wird, zumal wir auch heute noch nicht wissen, ob alle Zapfen einzeln und alle Stäbchen gekoppelt ableiten. — Diese Schwierigkeiten, den Ableitungstyp auszumachen, beziehen sich hauptsächlich auf solche Netzhäute oder Retinastellen, in denen die verschiedenen Elemente mehr oder weniger bunt gemischt vorkommen. In weitgehend uniformen Retinae oder Netzhautstellen (Fovea, äußerste Peripherie) dagegen hilft man sich mit der Auszählung der Sinneszellen oder ihrer Kerne einerseits, der inneren Ganglienzellen andererseits, welches Verhältnis ein angenähertes Bild von der Art der Ableitung vermittelt.

[1]) Daß MENNER (1929) zu einem gegenteiligen Ergebnis kam und, abgesehen von den Amphibien, eine generelle Unterscheidung von Stäbchen und Zapfen nach ihren Kernen für möglich hielt, muß nach den Untersuchungen besonders MURRS (1930), LASHLEYS (1932) und WALLS' (1934) auf seine Fixierung zurückgeführt werden.

XI.

Wenn auch erst andeutungsweise, so wissen wir doch heute schon, daß der Sehpurpur bezüglich seiner Lichtempfindlichkeit von Tier zu Tier Verschiedenheiten aufweist. Mit ihr verschiebt sich natürlich auch der Wirkungsbereich der Stäbchen in das Gebiet der hohen oder niederen Intensitäten hinein. Stäbchen und Stäbchen, Sehpurpur und Sehpurpur — und Entsprechendes gilt wahrscheinlich auch für die Zapfen und die Zapfensubstanz — ist also nicht unbedingt das gleiche, und auch dies warnt davor, den Begriff des „Tages" oder der „Dämmerung" allzu engherzig zu fassen. Es ist nur verständlich, wenn ein Tier, dessen Retina nur mit der Zapfensubstanz versorgt ist, dadurch einen gewissen Ausgleich erhält, daß die Schwelle seiner Zapfen gegenüber der der Tiere, die noch den Stäbchenapparat zur Verfügung haben, gesenkt ist, sei es nun an sich, sei es durch die mit dem Stäbchenapparat ausfallende Hemmung (s. o.). So fand auch v. STUDNITZ (1934) die Zapfenschwelle der Ringelnatter (deren Netzhaut keine Stäbchen besitzt) 13mal tiefer als die des Menschen, CROZIER, WOLF und ZERRAHN-WOLF (1938) die der Schildkröte nicht viel über der der menschlichen Stäbchen liegend.

Die oberen und unteren Grenzen der jeweiligen Sehpurpurwirkungsbereiche sind heute noch nicht exakt fixierbar. Eine angenäherte Vorstellung von den obwaltenden Unterschieden geben Näherungswerte, die ich hauptsächlich auf Grund pupillarer Meßmethoden ermittelte. Sie sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Zum Vergleich ist die ungefähre obere Grenze der Wirksamkeit des menschlichen Dämmerungsapparates mit eingetragen.

Tabelle 2.

Tierart	Obere Grenze der Stäbchenwirksamkeit, angenähert, in Lux	Autor
Homo . . .	0,25	
Scyllium . .	< 50,0	v. ST. 1934
Gallus . . .	> 50,0	THIENEMANN 1937, s. auch HONIGMANN
Cavia . . .	< 500,0	v. ST. 1934
Rana . . .	> 500,0	v. ST. 1934

Literatur.

Eine vollständige Behandlung der Problematik und Literatur findet sich in meinem Buche „Physiologie des Sehens". — ALLEN, Philosophic. Mag. **38** (1919) — J. Opt. Soc. amer. **13** (1926). — AUBERT, Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. — BAUER, Pflügers Arch. **133** (1910); **137** (1911). — BENDER, Ann. d. Physiol. **45** (1914) — Z. Sinnesphysiol. **50** (1919). — BIERENS DE HAAN, Z. vergl. Physiol. **12** (1930). — BIRUKOW, Z. vergl. Physiol. **1937**. — BLANCHARD, Physic. Rev. **11** (1918). — BLÄSSER, Zool. Jb., Abt. allg. Zool. u. Physiol. **43** (1926). — BLUM, Science (N. Y.) **1938** I. — BRECHER, Z. vergl. Physiol. **23** (1936). — BROWN, J. gen. Psychol. **14** (1936). — BRUNNER, Z. vergl. Physiol. **21** (1934). — CAJAL, Die Retina der Wirbeltiere. Wiesbaden 1893. — CHAFFEE u. HAMPSON, J. Opt. Soc. amer. **9** (1924). — COBLENTZ u. EMERSON, Bull. Bur. Stand. **14** (1918). — COLEMAN u. HAMILTON, J. comp. Psychol. **15** (1933). — CROZIER usw., J. gen. Physiol. **18** (1936); **21** (1938). — DARTNALL, GOODEVE u. LYTHGOE, Proc. roy. Soc. A. **156** (1936). — DAVIS, Amer. J. Psychol. **18** (1907). — DEVOSS u. GANSON, J. anim. Behav. **5** (1915). — DIETER, Graefes Arch. **113** (1924) — Pflügers Arch. **222** (1929). — EHRENHARDT, Z. vergl. Physiol. **24** (1937). — ERHARD, Zool. Jb., Abt. allg. Zool. u. Physiol. **41** (1924). — FISHER, J. of exper. Psychol. **23** (1938). — v. FRISCH, Z. vergl. Physiol. **2** (1925). — GRAHAM, KEMP u. RIGGS, J. gen. Psychol. **12**, 13 (1935). — GRANIT, Elektrophysiologie der Netzhaut und des Sehnerven. Kopenhagen 1936 — Docum. Ophth. **1** (1938). — GRUNDFEST, Proc. nat. Acad. Sci U.S.A. **17** (1931) — J. gen Physiol. **15** (1932). — GROSS, Z. Sinnesphysiol. **59** (1928). — HARTLINE, Amer. J. Physiol. **1938**. — HECHT, Physiologic. Rev. **17** (1937). — HECHT u. WILLIAMS, J. gen. Physiol. **5** (1922). — HECHT u. HAIG, J. Opt. Soc. amer. **26** (1936). — HECHT, HAIG u. WALD, J. gen. Physiol. **19** (1935). — HECHT, PESKIN u. PATT, Amer. J. Physiol. **119** (1937). — HENNING, Pflügers Arch. **117** (1938). — HERTER, Z. vergl. Physiol. **18** (1933). — HIMSTEDT u. NAGEL, Ber. naturforsch. Ges. Freiburg **11** (1900). — HONIGMANN, Pflügers Arch. **189** (1921). — HONJO, Z. vergl. Physiol. **1935**. — HOPKINS, Z. vergl. Physiol. **6** (1927). — HYDE, FORSYTHE, CADY, Astrophys. J. **48** (1918). — IVES, Philosophic. Mag. **24** (1912). — KÖNIG, Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin **1888**; **1894**; **1897**. — KÖTTGEN u. ABELSDORFF, Z. Physiol. Sinnesorg. **12** (1896). — KOHLRAUSCH, Pflügers Arch. **196** (1922). — v. KRIES, Z. Physiol. Sinnesorg. **9** (1896) — Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie **12**/I (1929). — v. KRIES u. NAGEL, Z. Physiol. Sinnesorg. **12** (1896). — LANGLEY, Amer. J. med. Sci. **36** (1888). — LASHLEY, J. comp. Psychol. **13** (1932). — LAURENS, Amer. J. Physiol. **67** (1924). — MENNER, Z. vergl. Physiol. **8** (1929). — MÜLLER, Z. vergl. Physiol. **12** (1930). — MURR, Z. Zellforsch. **10** (1930). — NAGEL u. SCHÄFER, Z. Physiol. Sinnesorg. **34** (1904). — NOVER, noch unveröffentlicht. — ØSTERBERG, Acta ophthalm. (Kopenh.) Suppl. **6** (1935). — PARINAUD, C. r. Acad. Sci. Paris **93** (1881); **99** (1884). — PLATEAU, Poggendorfs Ann. **20** (1830). — PORTER, Proc. roy. Soc. Lond. **70** (1902). — PÜTTER, Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl. **2**/10 (1908). — RIGGS, J. cellul. a. comp. Physiol. **19** (1937). — SÄLZLE, Z. Säugetierkde **1936**. — SCHULTZE, Arch. mikrosk. Anat. **2** (1866). — SGONINA, Z. Zool. **148** (1936). — SLOAN, Psychologic. Monogr. **38** (1928). — STEINHARDT, J. gen. Physiol. **20** (1936). — v. STUDNITZ, Pflügers Arch. **230** (1932); **239** (1937) — Z. vergl. Physiol. **19** (1933) — Zool. Jb., Abt. allg. Zool. u. Physiol. **54** (1934) — Naturwiss. **1934** — „Physiologie des Sehens", Leipzig 1940. — v. STUDNITZ u. WIGGER, Verh. dtsch. zool. Ges. **1937**. — TRENDELENBURG, Z. Physiol. Sinnesorg. **37** (1904). — TROLAND, J. Frankl. Inst. **182** (1916). — VERRIER, C. r. Acad. Sci. Paris **188**; **196**; **200**; **202** — Bull. biol. France et Belge **70**; **71**; Suppl. **17**—**20** (1935) — Arch. Ophthalm. **53** (1936). — WALLS, Amer. J. Ophthalm. **17** (1934) — Arch. Ophth. **12** (1934). — WASHBURN u. ABBOT, J. anim. Behav. **2** (1912). — WATSON, J. anim. Behav. **3** (1913). — WIGGER, Pflügers Arch. **239** (1937). — WRIGHT u. GRANIT, Brit. J. Ophthalm. Mon. Suppl. **9** (1938).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über Faktoren des Vitamin B-Komplexes.

Der auf Fullererde nichtadsorbierbare Teil des Vitamin B-Komplexes (vielfach als „Filtratfaktor" bezeichnet) enthält nach den neueren Untersuchungen mehrere Faktoren: den Küken-Antidermatitisfaktor, der wahrscheinlich mit der Pantothensäure von WILLIAMS[1]) identisch ist[2, 3]), den Rattenwachstumsfaktor B_w[4, 5]), wahrscheinlich mit dem Faktor *W* von ELVEHJEM und Mitarbeitern[6, 7]) identisch, den Antigraue-Haare-Faktor B_x[4, 8, 9]) und möglicherweise noch weitere Faktoren[10]). Das Vitamin B_w ist nach unseren Untersuchungen durch Pb- und Hg-Salze nicht fällbar[5]), ist löslich in Phenol und wässerigem Aceton[9]), läßt sich dagegen aus einem Hefeextrakt mit Äther in saurer Lösung ($p_H = 1$) nicht oder nur sehr schwer extrahieren[5]). Wir haben das Vorkommen dieses Vitamins in verschiedenen Nahrungsmitteln untersucht und gefunden, daß Säugetierleber eine reiche Quelle darstellt[9, 11]).

Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß die wachstumfördernden Substanzen in einem Leberextrakt sich anders verhalten als in Hefe[9, 12]). HOFFER und REICHSTEIN[13]) haben ebenfalls gefunden, daß der „Filtratfaktor" in Leber sich anders verhält als in Hefe. Aus einem Leberextrakt läßt sich nämlich im Gegensatz zum Hefeextrakt bei $p_H = 1$ eine Substanz mit Äther extrahieren, die auf unsere B_w-frei ernährten Ratten wachstumfördernd wirkt.

Wir gingen von einem nach LALAND und KLEM[14]) im Biochemischen Laboratorium der Firma Nyegaard & Co A/S, Oslo, hergestellten phenollöslichen Leberextrakt aus und untersuchten die wachstumfördernde Wirkung von Ätherextrakten nach verschieden langer Dauer der Extraktion. Die Fraktionen wurden an Ratten geprüft, die auf unsere B_w-freie Kost vollständig gewichtskonstant waren.

Die Tabelle 1 enthält die Ergebnisse dieser Versuche. Es wurden bei allen Fraktionen mindestens 4 Versuchstiere verwendet, und die Versuchszeit betrug im allgemeinen 5 Wochen.

Tabelle 1.

	Dosis, umgerechnet auf Menge Leberextrakt in ml	Mittlere wöchentliche Gewichtszunahme in g
Negative Kontrolltiere	0	−3
Leberextrakt	0,10	18
	0,25	19
Ätherextrakt ($p_H = 1$) nach 90 Stunden	0,5	9,4
Rückstand nach 90 Stunden Ätherextraktion	0,3	12,2
	0,5	20
Ätherextrakt nach 90 Stunden + Rückstand nach 90 Std.	0,5 + 0,3	20
Ätherextrakt nach 48 Stunden	0,25	9,3
Ätherextrakt 48—96 Stunden	0,25	2
	0,50	9,7
Ätherextrakt 96—146 Std.	1,0	10
Ätherextrakt 146—250 Std.	0,5	9,6
Rückstand nach 146 Stunden Ätherextraktion	0,25	13,4

Aus den Versuchen geht hervor, daß eine wachstumfördernde Substanz bei $p_H = 1$ mit Äther aus dem Leberextrakt extrahiert wird. Die Löslichkeit in Äther ist verhältnismäßig gering, da die Extraktion im Flüssigkeitsextraktionsapparat nach 146 Stunden noch nicht beendet war. Der Ätherextrakt bewirkte während der Versuchszeit eine mittlere wöchentliche Gewichtszunahme von 9—10 g, die sich bei Vergrößerung der Dosis nicht erhöhen ließ.

Der Rückstand nach einer 90stündigen Ätherextraktion enthält noch wachstumfördernde Substanz, die in genügend großen Dosen optimales Wachstum (20 g pro Woche) zeigt. Gibt man gleichzeitig den Ätherextrakt in optimaler Menge und den Rückstand in einer Menge, die allein noch nicht optimales Wachstum bewirkt, so erhält man wieder optimales Wachstum der Versuchstiere.

Die wachstumfördernde Substanz im Ätherextrakt wird durch kurzes Erwärmen in alkalischer Lösung bei 90° zerstört. Die im Rückstand verbleibende Substanz verträgt dagegen diese Behandlung ohne Einbuße der Wirksamkeit.

Das Ergebnis unserer Versuche zeigt, daß der Leberextrakt einen alkalistabilen Wachstumsfaktor enthält, der sich bei $p_H = 1$ mit Äther nicht extrahieren läßt. Dieser Faktor ist wahrscheinlich mit dem in Hefe bereits gefundenen Faktor B_w identisch und vielleicht auch mit dem Faktor *W* von ELVEHJEM und Mitarbeitern. Ein weiterer, *neuer* Rattenwachstumsfaktor läßt sich aber aus dem Leberextrakt mit Äther bei $p_H = 1$ extrahieren. Dieser ätherlösliche Faktor ist empfindlich gegen Alkali.

Der neue Faktor zeigt ähnliche Eigenschaften wie die Pantothensäure, und es besteht deshalb die Möglichkeit, daß der ätherlösliche Faktor Pantothensäure ist. ELVEHJEM und Mitarbeiter[2, 7]) haben aber gezeigt, daß Produkte, die bei Küken hochwirksam waren, keine wachstumfördernde Wirkung auf Ratten zeigten, die eine B-freie, durch B_1, B_2, B_6 und Nicotinsäure ergänzte Kost erhielten. HITCHINGS und SUBBAROW[15]) vertreten dagegen die Ansicht, daß die Panthotensäure jedenfalls teilweise für die wachstumfördernde Wirkung des „Filtratfaktors" verantwortlich ist. Diese Frage kann deshalb erst nach weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Es ist gezeigt worden, daß β-Alanin einen Teil der Pantothensäure bzw. des Kükenantidermatitisfaktors ausmacht[2, 16]). β-Alanin allein ist gegen Kükendermatitis nicht wirksam[2]). Falls die Pantothensäure eine wachstumfördernde Wirkung auf Ratten haben sollte, so besteht trotzdem die Möglichkeit daß das β-Alanin allein wachstumfördernd sein könnte. HOFFER und REICHSTEIN[13]) meinen, eine solche wachstumfördernde Wirkung des β-Alanins bei „Filtratfaktor"-frei ernährten Ratten festgestellt zu haben. Wir haben dagegen eine Wirkung von β-Alanin auf unsere B_w-frei ernährten *gewichtskonstanten* Ratten nicht feststellen können, wie aus der Tabelle 2 hervorgeht.

Tabelle 2.

	Dosis in mg	Mittlere wöchentliche Gewichtszunahme in g
β-Alanin	0,1	−2
	0,5	0
	1,0	−1
	10,0	1

Zusatz bei der Korrektur: In einer soeben erschienenen Arbeit teilen OLESON, WOOLLEY und ELVEHJEM[17]) mit, daß

[1]) WILLIAMS, WEINSTOCK, ROHRMANN, TRUESDAIL, MITCHELL u. MEYER, J. amer. chem. Soc. **61**, 454 (1939).
[2]) WOOLLEY, WAISMAN u. ELVEHJEM, J. of biol. Chem. **129**, 673 (1939).
[3]) JUKES, J. amer. chem. Soc. **61**, 975 (1939).
[4]) LUNDE u. KRINGSTAD, Avh. Norske Vid. Akad. Oslo, I. Mat.-nat. Kl. **1938**, Nr 1.
[5]) KRINGSTAD u. LUNDE, Hoppe-Seylers Z. **261**, 110 (1939).
[6]) ELVEHJEM, KOEHN u. OLESON, J. of biol. Chem. **115**, 707 (1936).
[7]) FROST u. ELVEHJEM, J. of biol. Chem. **121**, 255 (1937); **128**, 23 (1939).
[8]) LUNDE u. KRINGSTAD, Hoppe-Seylers Z. **257**, 201 (1939).
[9]) LUNDE u. KRINGSTAD, Vorgetragen in „American Chemical Society" Boston, September 1939. J. Nutrit. (im Druck).
[10]) MACRAE, TODD, LYTHGOE, WORK, HUID u. EL SADR, Biochemic. J. **33**, 1681 (1939).
[11]) LUNDE, Vitamine in frischen und konservierten Nahrungsmitteln. S. 130. Berlin: Julius Springer 1940.
[12]) LUNDE, Sv. kem. Tidskr. **51**, 235 (1939).
[13]) HOFFER u. REICHSTEIN, Nature (Lond.) **144**, 72 (1939).
[14]) LALAND u. KLEM, Acta med. scand. **88**, 620 (1936).
[15]) HITCHINGS u. SUBBAROW, J. Nutrit. **18**, 265 (1939).
[16]) WILLIAMS, Abstracts. American Chemical Society. Milwaukee 1938 [zit. nach [2]].
[17]) OLESON, WOOLLEY u. ELVEHJEM, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. **42**, 151 (1939).

sie jetzt ebenfalls mit einem Pantothensäurepräparat Wachstum bei Ratten erzielen konnten, und schließen, daß die Pantothensäure wahrscheinlich ein notwendiger Faktor für die Ratte ist.

Stavanger, Forschungslaboratorium der Norwegischen Konservenindustrie, den 31. Januar 1940.

GULBRAND LUNDE. HANS KRINGSTAD.

Physikalisch-chemische Trennung von isomeren Atomarten.

In Anlehnung an die v. WEIZSÄCKERsche Theorie[1]) über Kernisomerie sind neuerdings einige erfolgreiche Versuche zur Trennung radioaktiver isomerer Atomkerne gemacht worden. J. LE ROUX, S. LU und S. SUGDEN[2]) sowie E. SEGRÈ, S. HALFORD und T. SEABORG[3]) haben dazu das Prinzip angewandt, das der bekannten SZILÁRD-CHALMERSchen Methode der Konzentrierung künstlich-radioaktiver Atomarten zugrunde liegt; einen ähnlichen Weg haben auch C. DE VAULT und F. LIBBY[4]) eingeschlagen. Im folgenden soll über eine andere Methode kurz berichtet werden, die ebenfalls geeignet erscheint, isomere Atomarten voneinander zu trennen.

Stellen wir uns vor, wir hätten die beiden Isomere (die im Sinne der v. WEIZSÄCKERschen Theorie als Mutter- und Tochtersubstanz aufgefaßt werden müssen) verteilt zwischen der festen Oberfläche eines Kristalls und dessen gesättigter Lösung. Wenn zwischen den beiden Phasen praktisch nur die auf die äußerste Oberflächenschicht beschränkten Austauscheffekte vorkommen, dann ist das Verteilungsgleichgewicht folgendermaßen gekennzeichnet[5]). Die in der festen Wand befindliche Menge (x_1) der Muttersubstanz verhält sich zu der in der Lösung gebliebenen Menge (y_1) wie die Größen $w_1 = F \cdot D/\delta \cdot 1/v$ und $w_{-1} = F/X \cdot D/\delta \cdot C$, wo: F = Oberflächenausdehnung des Kristalls in qcm, X = die in g Molen angegebene Menge der austauschfähigen Moleküle der festen Wand, D = Diffusionskoeffizient der betrachteten Atomart in der an die feste Wand adhärierenden Flüssigkeitsschicht (der NERNSTschen Schicht) von der Dicke δ, schließlich v und C bzw. = das ganze Volumen der flüssigen Phase (in ccm) bzw. die Löslichkeit (in g Molen/ccm) der betrachteten Atomart unter den jeweils herrschenden Bedingungen.

Im Laufe der Gleichgewichtseinstellung gilt anfangs auch für die Verteilung der Tochtersubstanz — die ja chemisch

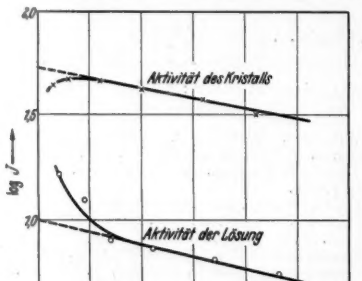


Fig. 1. Trennung der beiden isomeren $^{80}_{35}$Br-Atomkerne durch Adsorption an Silberchlorid.

identisch ist mit der Muttersubstanz — die obige Relation. Bald kommt aber der Rückstoß des mit der Umwandlung Muttersubstanz → Tochtersubstanz verknüpften γ-Strahls als ein die Rücklösungstendenz vergrößernder neuer Faktor zur Geltung. Der γ-Rückstoß aktiviert nämlich das an der Oberfläche gebundene Umwandlungsatom der Tochtersubstanz, so daß dieses sofort zurückgelöst wird; infolgedessen wird die Rücklösungsgeschwindigkeit für die Tochtersubstanz nicht mehr gleich w_{-1}, sondern größer als dieses. Die Verteilungskonstante der Tochtersubstanz wird also im Vergleich zur Muttersubstanz verkleinert: die Tochtersubstanz reichert sich in der Lösung an.

Versuche mit den 18-Minuten- und 4,5-Stunden-$^{80}_{35}$Br-Isomeren bestätigen die Richtigkeit dieser Folgerung. Fig. 1 zeigt die Resultate eines Versuches, der mit einer wässerigen Lösung (50 ccm) radioaktiver $^{80}_{35}$Br-Ionen durchgeführt wurde, wobei als feste Phase ein etwa 5 Jahre altes, sehr gut ausgewaschenes AgCl-Kristallpulver diente, welches mit der Lösung bei 20° 1,2 Stunden lang gerührt wurde. Das radioaktive Brom wurde durch Bestrahlung von Äthylenbromid mit langsamen Neutronen (aus etwa 30 mcurie Radon, vermischt mit Be-Pulver) gewonnen und nach dem Verfahren von O. ERBACHER und K. PHILIPP[6]) gereinigt. Der eigentliche Versuch begann erst $2^1/_2$ Stunden nach Beendigung der Neutronenbestrahlung, also zu einer Zeit, da die unmittelbar durch die Neutronenbestrahlung synthetisierte 18-Minuten-Komponente schon ganz verschwunden war. Wenn also diese kurzlebige Komponente im Verlaufe des Rührversuches wieder zum Vorschein kommt — und zwar, wie es aus Fig. 1 ersichtlich ist, in der Lösung angereichert —, muß diese aus der 4,5-Stunden-Komponente entstanden sein. Wäre ein solcher genetischer Zusammenhang nicht vorhanden, so sollte man ein Resultat erwarten, das durch die gestrichelte Linie in der Figur dargestellt ist.

Das hier kurz skizzierte Verfahren hat den Vorteil, daß es in recht vielen konkreten Fällen anwendbar zu sein scheint. Selbst die Frage der Entstehung des *UZ* aus UX_2[7]) konnte noch mit der neuen Methode experimentell in Angriff genommen werden; bisherige Versuche sprechen *gegen* die Annahme einer *UZ*-UX_2-Isomerie. Einzelheiten sollen später an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Budapest, Radiologisches Institut der Universität, den 25. Januar 1940. L. IMRE.

[1]) C. F. v. WEIZSÄCKER, Naturwiss. 18, 813 (1936).
[2]) L. J. LE ROUX, C. S. LU, S. SUGDEN, Nature 143, 517 (1939).
[3]) E. SEGRÈ, R. S. HALFORD, G. T. SEABORG, Physic. Rev. 55, 321 (1939).
[4]) DON C. DE VAULT u. W. F. LIBBY, Physic. Rev. 55, 322 (1939).
[5]) L. IMRE, Z. physik. Chem. A. 177, 409 (1936).
[6]) O. ERBACHER u. K. PHILIPP, Z. physik. Chem. A. 176, 169 (1936).
[7]) N. FEATHER u. E. BRETSCHER, Proc. roy. Soc. A. 165, 530 (1938).

Die Lamellarstruktur der Chloroplasten im ultravioletten Licht.

Polarisationsoptisch ließ sich der Nachweis erbringen, daß die Chloroplasten eine lamellare Grundstruktur besitzen[1]). Was den feineren Bau der Lamellen angeht, so kann in erster Näherung angenommen werden, daß Lipoid-Doppelschichten mit senkrecht zur Fläche stehenden Molekülen abwechseln mit Proteinlamellen, deren molekulare Struktur noch unklar ist. Die Dicke der Schichten ist klein im Verhältnis zur Wellenlänge des Lichtes, während über ihre seitliche Ausdehnung das polarisationsoptische Verfahren keine Aussagen gestattet. So kann nicht entschieden werden, ob die Chloroplasten wie der ideale WIENERsche Schichtenmischkörper aus durchgehenden Lamellen besteht, oder ob ein aus plättchenförmigen Teilchen mit bevorzugt flächiger Orientierung aufgebautes System vorliegt.

Nun konnten MENKE und KOYDL[2]) an gefärbten Mikrotomschnitten durch Anthoceros-Chloroplasten lamellare Differenzierungen direkt beobachten und für dieses Objekt das Vorhandensein durchgehender Schichten sehr wahrscheinlich machen. Für einen einwandfreien Nachweis reicht aber das Auflösungsvermögen im sichtbaren Licht nicht aus. Dieser gelang aber mit dem Ultraviolettmikroskop nach KÖHLER. Herr Professor Dr. A. KÖHLER hatte die Güte, von unseren Präparaten eine größere Anzahl Aufnahmen zu machen, wofür wir ihm bestens danken. Es wurden vier möglichst verschiedene Typen von Chloroplasten ausgewählt. Infolge des gesteigerten Auflösungsvermögens des Instrumentes und der starken Ultraviolettabsorption der Chloroplasten war es möglich, für alle vier den Aufbau aus durchgehenden Lamellen sicherzustellen. Als Vertreter der homogen erscheinenden, pyrenoidhaltigen Plastiden wurden Chloroplasten von Anthoceros spec. untersucht. Querschnitte zeigen durchgehende Lamellenlagen, die in der Umgebung des Pyrenoids von Stärkekörnern auseinandergedrängt werden. Das Pyrenoid ist in spindelförmige Teilchen auf-

gelöst, die Verdickungen der Lamellenlagen zu sein scheinen (Fig. 1). Auch in granaführenden Chloroplasten von Selaginella grandis und Phaseolus multiflorus konnten durchgehende Lamellenlagen sichtbar gemacht werden. Die Grana erscheinen als lokale Verdickungen der Lamellenlagen (Fig. 2).

Fig. 1. Querschnitt durch einen Chloroplasten von Anthoceros spec. (Monochromat 1,7 mm, num. Apert. 1,25 und Quarzokular 7 von Zeiss; Wellenlänge $\lambda = 275$ mμ; Aufnahmemaßstab 1000:1, nachträgl. 4:1 vergr., Gesamtvergr. 4000:1).

Das Ergebnis unserer Untersuchungen, über die demnächst ausführlich berichtet werden soll, kann folgendermaßen zusammengefaßt werden. Sowohl homogen erscheinende Chloroplasten wie auch granaführende sind einheitlich aus durchgehenden Lamellenlagen aufgebaut, die ihrerseits aus Einzellammellen verschiedener chemischer Zusammensetzung und molekularer Struktur bestehen. Auftreten von Grana ist die Folge einer inhomogenen Verteilung gewisser Komponenten innerhalb der Lamellenlagen.

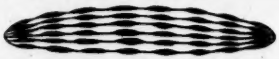


Fig. 2. Schema eines Querschnittes durch einen Chloroplasten einer höheren Pflanze im ultravioletten Licht.

Es sei darauf hingewiesen, daß unter Verwendung monochromatischen ultravioletten Lichtes verschiedener Wellenlänge weiterhin über die Lokalisation gewisser Substanzen im Chloroplasten Auskunft erhalten werden kann. Ob die von uns früher in den Chloroplasten nachgewiesene Nukleinsäure[3]) in Analogie zu den Zellkernen bzw. Chromosomen an deren starker Absorption bei 275 mμ beteiligt ist, wird untersucht.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die Förderung dieser Untersuchungen.

Berlin-Dahlem, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität, den 2. Februar 1940. Wilhelm Menke.

[1]) Kolloid-Z. **85**, 256 (1938).
[2]) Naturwiss. **27**, 29 (1939).
[3]) Hoppe-Seylers Z. **257**, 43 (1938).

Besprechungen.

VOLMER, MAX, **Kinetik der Phasenbildung.** (Die Chemische Reaktion. Hrsg. von K. F. Bonhoeffer. Band IV.) Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1939. XII, 220 S. und 61 Abbild. 15 cm × 23 cm. Preis brosch. RM 19,—, geb. RM 20.—.

Auf dem Gebiete der Phasenbildung, vor allen Dingen der Kinetik der Keimbildung, sind unsere Kenntnisse in den letzten 15 Jahren sehr wesentlich bereichert worden. Während man früher sich im wesentlichen auf die Beschreibung der experimentellen Ergebnisse beschränkt sah und die theoretischen Betrachtungen über grobe und wenig bestimmte qualitative Ansätze nicht hinausreichten, haben wir heute in vielen Fällen sehr eingehende Vorstellungen über den molekularen Mechanismus der Keimbildung, und das experimentelle Material kann auf Grund einer quantitativen Theorie berechnet werden. An dieser Entwicklung haben der Verf. und seine Schule maßgeblich teilgenommen, und so ist eine zusammenfassende Darstellung der Keimbildung — um diese handelt es sich in der Hauptsache — aus seiner Feder besonders zu begrüßen.

Das Buch von Volmer ist weit davon entfernt, nur eine Zusammenfassung zu sein, es enthält in vielen Teilen neue Betrachtungen und Berechnungen, die zusammen mit dem bereits Bekannten erst ein abgerundetes Bild des ganzen Gebietes ergeben, soweit es heute möglich ist. Die Schranken der weiteren Erkenntnis sind meistens experimentellen Charakters. So ist die Oberflächenenergie des festen Körpers der unmittelbaren Messung noch immer nicht zugänglich.

Der Name des Verf. bürgt für eine klare, korrekte und überzeugende Darstellung. Da eine der wesentlichen Aufgaben des Buches in der rechnerischen Erfassung dessen, was der Rechnung zugänglich ist, besteht, erfordert es ein eindringliches Studium. Es wird die selbstverständliche Grundlage für jede weitere theoretische und experimentelle Entwicklung auf dem Gebiete der Keimbildung und des Keimwachstums sein.

Georg Masing, Göttingen.

WESTPHAL, WILHELM H., **Physikalisches Praktikum.** Eine Sammlung von Übungsaufgaben für die physikalischen Übungen an Universitäten und Hochschulen aller Gattungen. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn 1938. VIII, 335 S., 101 Abbild. und 6 graphische Tabellen. 14 cm × 22 cm. Preis brosch. RM. 8.—, geb. RM. 9.60.

Das Westphalsche Werk hat gleich, als es im Anfang 1938 erschien, das lebhafte Interesse derer erregt, die mit der Durchführung physikalischer Praktika zu tun haben — äußerte sich hier doch ein Autor, dessen praktisches Wirken auf diesem Gebiet wohlbekannt war, zum ersten Male eingehend. Eine kurze Darstellung in der Poskeschen Zeitschrift hatte bereits 1937 einem größeren Kreis davon berichtet, in welcher Weise W. Westphal das Prinzip der Parallelarbeit, das sich im Schülerpraktikum so gut bewährt, auf den ganz großen Maßstab angewandt hat, den das Charlottenburger Praktikum bietet. Das Arbeiten in Gruppen erlaubt, wenn die erheblichen Ansprüche an Apparatur befriedigt sind — die meisten Anordnungen sind dort 10fach vorhanden —, höchst erwünschte Gründlichkeit

in der Erläuterung der Einzelaufgaben und der Beurteilung von Beobachtung und Protokoll bei jedem einzelnen Teilnehmer.

Das Buch gibt für 40 Aufgaben abgeschlossene Kapitel, die jeweils Erläuterung, Anleitung und ein mit Zahlenwerten von der Beobachtungstabelle bis zur Fehlerabschätzung durchgeführtes Protokoll in sich vereinigen. Da die Überlegungen und die daraufhin eingeschlagenen Verfahren sehr lebendig geschildert sind, entstehen suggestiv wirkende Darstellungen.

Sachlich wird der klassische Umfang des physikalischen Praktikums umfaßt. Die Auswahl folgt dem Charlottenburger Praktikum, ist aber nicht nach der dort eingehaltenen didaktischen Folge geordnet, die mit Elektrizität und Optik beginnt, weil sie meßtechnisch die einfachsten Aufgaben bieten, sondern sachlich, indem nach einem einleitenden Kapitel über Maß, Messen, Rechnen und einigen Regeln für praktisches Zugreifen mit der Mechanik begonnen wird. Demgemäß erscheinen die dort im 3. Semester — für Physiker — zusammengefaßten Aufgaben, die vor allem Schwingungen betreffen, hier zum Teil bereits hier im ersten Abschnitt. Die ihnen zugehörenden allgemeinen Betrachtungen (Ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen, Theorie des Drehspulgalvanometers) folgen in zwei Schlußabschnitten. So ist alles gegeben, was der Verf. in seiner Praxis anwendet, und zugleich durch die sachliche Anordnung doch die Anwendbarkeit auf beliebige Praktika gewahrt. Das Buch wird besonders auch dem von Wert sein, der außerhalb des Studiums, etwa im Gang einer biologischen Untersuchung, nötig hat, eine ihm ungewohnte physikalische Messung auszuführen.

Im einzelnen wirkt sich überall eine didaktische Erfahrung von ungewöhnlichem Umfang aus. Mit Vergnügen folgt man ihren Äußerungen, vom Lob des Kopfrechnens bis zu Entwicklungen, wie der hübschen Studie über Direktionskraft und Trägheitsmoment der Waage, die an die gewohnte Beobachtung der Empfindlichkeitskurve angeschlossen wird, oder dem systematischen Aufbau der Galvanometeraufgaben. So ist diese Sammlung klar ausgeführter Beispiele ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zu ruhiger und genauer Ausbildung im physikalischen Beobachten.

W. Kossel, Danzig-Langfuhr.

KLEFFNER, WILHELM, **Die Reichskartenwerke** mit besonderer Behandlung der Darstellung der Bodenformen. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1939. VI, 108 S., 50 Abbild. und 16 Kartenbeilagen im Anhang. Preis geb. RM 6.—.

In der Kartographie ist heute ein reges Suchen nach Neuland zu beobachten, das gelegentlich infolge mangelnder Kenntnis des Wesens der Karte und ihrer technischen Möglichkeiten auf Abwege gerät. Es ist deshalb grundsätzlich zu begrüßen, wenn hier ein erfahrener Beamter des Reichsamts für Landesaufnahme es unternimmt, das gesicherte Gut großmaßstäbiger Kartographie und kartographischer Reproduktionstechnik in knapper, klarer Form darzustellen. Man erlebt beim Lesen geradezu die ungeheure Mühe, die an diese Kartenwerke gewendet werden muß, um dem Benutzer — dem Soldaten, Wehrsportler und Wanderer, dem Geographen, Geologen und nicht zuletzt dem Ingenieur — eine zuverlässige, ausmeßbare und doch auch nach Möglichkeit anschauliche Abbildung der Erdoberfläche in die Hand zu geben.

Der erste, etwas mehr als die Hälfte des Buches umfassende Teil behandelt 1. die mathematischen (Projektions-) und Vermessungsgrundlagen der Karte, 2. die Darstellungsmethoden des Karteninhalts, vor allem der Bodenformen, und gibt 3. eine Übersicht über die amtlichen deutschen Kartenwerke und die Art ihrer Geländedarstellung. Dieser 3. Abschnitt läßt in kurzen historischen Abrissen über das Werden der einzelnen Kartenwerke gleichsam in Marksteinen die Entwicklung der deutschen Landesaufnahme vor uns abrollen und bringt in Verbindung damit äußerst lehrreiche Erörterungen über allgemeine kartographische Fragen, insbesondere über das Problem der Geländedarstellung. Auch die Vogelsche Karte von Mitteleuropa, die österreichischen amtlichen Kartenwerke, die Seekarten der deutschen Marineleitung und die geologischen Karten werden kurz behandelt.

Der 2. Teil ist der Kartenvervielfältigung gewidmet, d. h. einem Spezialgebiet kartographischer Tätigkeit, das nicht nur nach der wirtschaftlichen Seite hin von großer Bedeutung ist, sondern auch die eigentliche kartographische Entwicklung oft bestimmend beeinflußt hat. Wir werden von den klassischen Verfahren des Kupferstiches und der Lithographie mit all ihren modernen Vervollkommnungen zu den heute immer mehr beschrittenen neuen Wegen der Kartenvervielfältigung über die Reinzeichnung geführt und finden anschließend auch die Druckverfahren dargestellt. Das alles ist kenntnisreich beschrieben, verlangt aber — wie überhaupt das ganze Buch — infolge der Vielseitigkeit des Stoffes ein sorgfältiges Studium. Wer diese Mühe auf sich nimmt, wird viel Nutzen davontragen, auch wenn er kein Fachmann ist.

Zum Schluß sei noch die sehr nützliche Zusammenstellung wichtiger in- und ausländischer amtlicher Kartenwerke erwähnt und die gute Ausstattung mit zahlreichen instruktiven Abbildungen im Text und einem Anhang von 16 Tafeln. Diese Tafeln, die im Reichsamt für Landesaufnahme hergestellt wurden, bringen nach erläuternden methodischen, zum Teil neuartigen Darstellungen Ausschnitte aus den deutschen amtlichen Kartenwerken und bilden, indem sie die zum Verständnis unerläßliche Anschauung vermitteln, eine wertvolle und notwendige Ergänzung des Buches. Kurt Kaehne, Berlin.

BORGSTRÖM, GEROG, **The transverse reactions of plants.** (Outlines of a new interpretation of the significance of growth hormones for life-processes in plants.) Lund/Schweden: C. W. K. Gleerup 1939. 230 S. und 58 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. 6 Kr.

Der Verfasser gehört zu den Forschern, die sowohl die Intensität als auch den besonderen Verlauf des Wachstums der einzelnen pflanzlichen Organe als weitestgehend vom Wuchsstoff gelenkt ansehen. In seiner Schrift untersucht Borgström vor allem die Bedeutung der Transportrichtung des Hormons; allerdings werden dabei nur gelegentlich eigene neue Versuche zur Begründung der Ansichten herangezogen. Das Wachstum soll allgemein in der Richtung des Hormontransportes am lebhaftesten sein, so daß beispielsweise beim Herabströmen des Wuchshormons in der Pflanze ein Längenwachstum, beim Quertransport ein Dickenwachstum der betreffenden Region erfolge. Diese Gesetzlichkeit wird zur Erklärung der verschiedensten Besonderheiten im Verlauf des pflanzlichen Wachstums herangezogen: Zur Analyse der Wachstumsbewegungen, des Dickenwachstums, der Dorsiventralitätsausprägung; aber auch zur Erklärung beispielsweise des sukkulenten und xeromorphen Baus. So gibt das Buch anregende Gedankengänge wieder, die allerdings wohl ohne vollständigere experimentelle Unterlagen als zu sehr in die Weite gehend bezeichnet werden müssen; sie könnten dazu verleiten, die Vielheit der Faktoren, die Wachstum und Entwicklung bestimmen, zu übersehen. E. Bünning, Königsberg i. Pr.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.